

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

## **Rekonstrukce homogenizačního stroje**

**SCk 19 x 14**

*Reconstruction of Homogenizing Machine*

*SCk 19 x 14*

Student:

Bc. Martin Hájek, DiS.

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Horst Gondek, DrSc.

Ostrava 2012

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Hájek**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství  
Specializace: 70 Zemní, těžební a stavební stroje  
Téma: **Rekonstrukce homogenizačního stroje SCk 19 x 14**  
**Reconstruction of Homogenizing Machine SCk 19 x 14**

### Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rešerši skládkových strojů.
2. Konstrukční návrh řešení ocelové konstrukce stroje.
3. Proveďte konstrukční návrh umístění vrátku zdvihu výložníku.
4. Proveďte výpočet vrátku zdvihu.
5. Konstrukční návrh upraveného homogenizačního stroje.

### Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.  
ČSN ISO 690 *Bibliografické citace*. Obsah, forma a struktura. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.  
Gondek, H., Ševčík, A.: *Stroje pro těžbu a zpracování užitkových surovin I*, Vydala: VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2006, ISBN 80- 248- 1040 - 9  
BOLEK, A. – KOCHMAN, J. – KOLEKTIV: *Části strojů – 1. svazek*. 5. vydání Praha. SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1989, 775 s. ISBN 80-03-00048-7.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Horst Gondek, DrSc.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- было с́еднано, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- было с́еднано, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 21. 5. 2012

.....

Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Martin Hájek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Nošovice 310, 73951



## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

HÁJEK, M. *Rekonstrukce homogenizačního stroje SČk 19 x 14: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2011, 66 s. Vedoucí práce: prof. Ing. Horst Gondek, DrSc.

Diplomová práce se zabývá úpravou stávajícího skládkového stroje za účelem jeho modernizace. Modernizace spočívá především v návrhu nové ocelové konstrukce stroje a návrhem lanového vrátku zvedání vodiče shrnovacího řetězu. Cílem této práce bylo navrhnout zjednodušení stávajících uzlů a tím snížit náklady na výrobu, montáž, provoz a údržbu. Výsledky této diplomové práce lze aplikovat do návrhu nového stroje.

## **ANNOTATION OF MASTER THESIS**

HÁJEK, M.: *Reconstruction of homogenization machine SČk 19 x 14: diploma thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production machines and design, 2012, 66 s. Thesis head: prof. Ing. Horst Gondek, DrSc.

This thesis deals with editing of existing landfill equipment for the purpose of its modernization. Modernization consists mainly of a new steel structure design and rope winch. Rope winch purposes for lifting lead of folding chain. The study aim was to make a simplification of the existing parts and thus reduce the cost of production, installation, operation and maintenance. The results of this thesis can be applied to design a new machine.

## Obsah

<b>1. Úvod .....</b>	<b>11</b>
<b>2. Rešerše homogenizačních strojů .....</b>	<b>12</b>
2.1. Řešení skládek sypkých materiálů .....	12
2.1.1. Sklárky sypkých materiálů .....	12
2.1.2. Skládkové stroje .....	13
2.1.3. Pásové dopravníky .....	14
2.1.4. Homogenizace .....	14
2.2. Zakládání materiálu .....	15
2.2.1. Metody zakládání .....	15
2.3. Typy přepravovaných materiálů .....	18
2.4. Zakládací stroje .....	19
2.4.1. Portálový zakladač .....	19
2.4.2. Výložníkový zakladač .....	19
2.5. Nakládací stroje a shrnovače .....	20
2.5.1. Boční shrnovače .....	20
2.5.2. Portálový korečkový naběrač .....	22
2.6. Kombinované skládkové stroje .....	23
2.6.1. Portálový zakladač – naběrač korečkový .....	23
2.6.2. ZNKK zakladač – naběrač korečkový .....	24
2.6.3. SZHK shrnovač zakladač – naběrač homogenizační .....	24
<b>3. Konstrukční návrh řešení ocelové konstrukce .....</b>	<b>26</b>
3.1. Popis stávající ocelové konstrukce .....	26
3.1.1. OK dolního rámu .....	26
3.1.2. OK vodiče shrnovacího řetězu .....	27
3.1.3. OK šikmé příčle .....	28
3.1.4. OK plošiny +1,255 a +2,500 .....	28
3.1.5. OK plošiny +5,400 .....	29
3.1.6. Zaplechování plošin a schodiště .....	29
3.1.7. Zábradlí .....	29
3.2. Popis úprav nové ocelové konstrukce .....	30
3.2.1. Ok dolního rámu a šikmá příčle .....	30
3.2.2. Plošina +2,500 .....	31
<b>4. Konstrukční návrh umístění vrátku zdvihu výložníku</b>	<b>32</b>
<b>5. Výpočet vrátku zdvihu .....</b>	<b>33</b>
5.1. Zadání .....	33

5.2. Zadávací parametry .....	33
5.2.1. Tažná síla vrátku.....	33
5.2.2. Rychlost zvedání výložníku.....	39
5.2.3. Počet navíjených konců lana .....	40
5.2.4. Lanový převod závěsu .....	40
5.3. Výpočet vrátku zdvihu výložníku .....	40
5.3.1. Návrh lana.....	41
5.3.2. Výpočet minimálního průměru lana .....	42
5.3.1. Výpočtová únosnost lana.....	43
5.3.2. Volba lana .....	43
5.3.3. Průměr lanového bubnu.....	44
5.3.4. Volba pohonu.....	47
5.3.5. Pevnostní kontrola pláště lanového bubnu .....	49
5.3.6. Kontrola hřídele lanového bubnu .....	51
5.3.7. Posouzení ložisek .....	55
<b>6. Závěr.....</b>	<b>59</b>

## Seznam Použitého označení

$C$	Součinitel výběru lana	
$D_1$	Průměr bubnu pod lanem	[mm]
$D_2$	Vnitřní průměr bubnu	[mm]
$D_{\text{bubnu min}}$	Minimální průměr bubnu	[mm]
$d_{\text{lana}}$	Skutečný průměr lana	[mm]
$D_{\text{rozteč}}$	Roztečná kružnice bubnu	[mm]
$F_1$	potřebná minimální únosnost lana	[N]
$f_B$	Provozní faktor elektropřevodovky	
$F_G$	Zatěžovací síla vodiče shrnovacího řetězu	[N]
$F_p$	Síla působící v těžišti převodovky	[N]
$F_{\text{vod}}$	tažná síla	[N]
$F_{xrvod}$	Radiální síla na bubnu v ose x	[N]
$F_{yrvod}$	Radiální síla na bubnu v ose y	[N]
$g$	gravitační zrychlení	[m/s <sup>2</sup> ]
$h_{\text{bubnu}}$	Součinitel výběru pro buben	
$K'$	Součinitel minimální únosnosti lana	
$k_{\text{dyn}}$	Dynamická bezpečnost hřídele	
$k_{\sigma}$	Dynamická bezpečnost v ohybu	
$k_T$	bezpečnostní součinitel zahrnující svarové	
$k_T$	Dynamická bezpečnost v krutu	
$l_1$	vzdálenost těžiště	[mm]
$L_1$	Vzdálenost působíště síly od osy ložiska	[mm]
$l_1(0^\circ)$	vzdálenost těžiště ve vodorovné pozici	[mm]
$l_1(-15^\circ)$	vzdálenost těžiště ve vodorovné pozici	[mm]
$l_{\text{drážky}}$	Délka navinutého lana pro 1 drážku	[mm]
$l_{1\text{max}}$	Maximální délka horní části lana	[mm]
$l_{1\text{min}}$	Minimální délka horní části lana	[mm]
$l_2(40^\circ)$	vzdálenost táhla	[mm]
$l_{2\text{max}}$	Maximální délka dolní části lana	[mm]
$l_{2\text{min}}$	Minimální délka dolní části lana	[mm]
$L_d$	Vzdálenost nebezpečného průřezu od osy	[mm]
$l_{\text{nav}}$	Délka navíjeného lana	[mm]
$M_{0\text{hřídele}}$	Ohybový moment hřídele	[N*mm]
$M_k$	Jmenovitý moment elektropřevodovky	[Nm]
$M_{k\text{max}}$	Maximální krouticí moment	[Nm]
$M_o$	Ohybový moment	[N*mm]
$m_{\text{prev}}$	Hmotnost převodovky	[kg]

$m_Q$	hmotnost OK výložníku bez materiálu	[kg]
$m_{Qmat}$	hmotnost OK výložníku s nalepeným	[kg]
$n_2$	Otáčky lanového bubnu	[min-1]
$n_{2skut}$	Skutečné výstupní otáčky	[min-1]
$n_{drážek}$	Potřebný počet drážek na bubnu	
$n_L$	lanový převod závěsu	
$n_z$	počet navíjených konců lana	
$P$	Potřebný výkon elektromotoru	[W]
$p_{bubnumin}$	Minimální prostor pro lano na bubnu	[mm]
$p_{drážek}$	Rozteč drážek	[mm]
$R_0$	Pevnost v tahu drátku použitého v laně	[N/mm2]
$R_{1(40^\circ)}$	reakce v čepu v poloze $+40^\circ$	[N]
$R_{1x(40^\circ)}$	reakce x v čepu v poloze $+40^\circ$	[N]
$R_{1y(40^\circ)}$	Reakce y v čepu v poloze $+40^\circ$	[N]
$R_{2(0^\circ)}$	tažná síla v poloze $0^\circ$	[N]
$R_{2(0^\circ)}$	tažná síla v horní pozici výložníku	[N]
$R_{2(-15^\circ)}$	tažná síla v poloze $-15^\circ$	[N]
$R_{2(-15^\circ)}$	tažná síla v horní pozici výložníku	[N]
$R_{2(40^\circ)}$	tažná síla v poloze $+40^\circ$	[N]
$R_{2(40^\circ)}$	tažná síla v horní pozici výložníku	[N]
$R_{2y(0^\circ)}$	reakce v táhle v poloze $0^\circ$	[N]
$R_{2y(-15^\circ)}$	reakce v táhle v poloze $-15^\circ$	[N]
$R_{2y(40^\circ)}$	reakce v táhle v poloze $+40^\circ$	[N]
$R_a$	Axiální síla působící na ložisko	[N]
$R_d$	dovolené namáhání pro materiál S355	[Mpa]
$R_r$	Radiální síla působící na ložisko	[N]
$R_{xr}$	Radiální síla v ose x působící na ložisko	[N]
$R_{yr}$	Radiální síla v ose y působící na ložisko	[N]
$S$	Maximální tah v lanu	[N]
$t_{lana}$	Součinitel typu lana	
$v_z$	rychlost zvedání výložníku v závěsu	[m/min]
$v_{zskut}$	skutečná rychlost zvedání výložníku v ose	[m/min]
$W_{k\ hridele}$	Modul průřezu v krutu	[mm3]
$W_o$	Průřezový modul ohybu	[mm3]
$W_{o\ hridele}$	Průřezový modul ohybu	[mm3]
$Z_p$	minimální součinitel bezpečnosti lana	
$\alpha_{FG(0^\circ)}$	úhel výložníku ve vodorovné pozici	[°]

$\alpha_{FG(-15^\circ)}$	úhel výložníku ve vodorovné pozici	[°]
$\alpha_{FG(40^\circ)}$	úhel výložníku	
$\alpha_{R2(0^\circ)}$	úhel táhla v poloze 0°	[°]
$\alpha_{R2(-15^\circ)}$	úhel táhla ve vodorovné pozici	[°]
$\alpha_{R2(40^\circ)}$	úhel táhla v poloze +40°	[°]
$\alpha_{vod}$	Úhel lana na vrátku	[°]
$\beta\sigma, \beta\tau$	Vrubový součinitel	
$\Delta Q_{mat}$	Procentuální nárůst hmotnosti výložníku	[%]
$\varepsilon_p$	Součinitel jakosti povrchu	
$\eta$	Účinnost převodové skříně a lanového	
$\vartheta\sigma, \vartheta\tau$	Součinitel velikosti	
$\rho$	součinitel vlivu zmenšení síly v laně vlivem	
$\sigma$	Výsledné napětí	[MPa]
$\sigma_a, \sigma_o$ hřídele	Ohybové namáhání	[MPa]
$\sigma_{C0}$	Mez únavy v ohybu	[MPa]
$\sigma_d$	Tlakové napětí	[MPa]
$\sigma_{max}$	Maximální dovolené napětí	[MPa]
$\sigma_o$	Ohybové napětí	[Mpa]
$T_a, T_m$	Namáhání v krutu	[MPa]
$T_{Ck}$	Mez únavy v krutu	[MPa]
$\Psi$	součinitel počtu navinutých vrstev lana na	
$\psi_T$	Vliv materiálu na nesouměrnost cyklu	

## 1. Úvod

Svou diplomovou práci na téma „Rekonstrukce homogenizačního stroje SČK 19 x 14“ jsem zpracovával ve společnosti VÍTKOVICE GEARWORKS a.s.. Jedná se o společnost s dlouholetou strojírenskou tradicí působící nejen na českém trhu, ale také velice výrazně v zahraničí. Tato společnost se mimo jiné zabývá návrhem a dodávkami strojů a zařízení pro těžbu uhlí a zařízení pro manipulaci se sypkými materiály.

Úkolem mé práce bylo provést úpravu stávajícího zařízení a jeho modernizaci stroje sloužícího k manipulaci se sypkými materiály. Tato modernizace především spočívá v úpravě ocelové konstrukce stroje a také návrhu nového vrátku zdvihu výložníku s ohledem na úpravu ocelové konstrukce. Jednotlivé funkční uzly musí být navrženy tak, aby na sebe plynule navazovaly a zařízení mohlo fungovat s ohledem na daná provozní omezení.

Manipulace se sypkými materiály je obecně velice problematická činnost. Nelze zcela jednoznačně bez důkladných testů a měření přesně určit vlastnosti sypkého materiálu. Tyto vlastnosti se mohou vlivem klimatických podmínek měnit. Zařízení musí být navrženo tak, aby tyto nepříznivé podmínky v co největší míře eliminovalo.

## 2. Rešerše homogenizačních strojů

### 2.1. Řešení skládek sypkých materiálů

Skládky sypkých hmot jsou určeny pro havarijní, homogenizační a technologické účely. Vyrovnávají rozdíly mezi dodávkou a spotřebou materiálu, vytváří dostatečné zásoby materiálu pro případ výpadků v dopravě či havárie a dostatečné zásobení pro období zvýšené spotřeby (např. dodávky uhlí v zimním období) a zajišťují plynulý přísun materiálu do výrobního procesu.

#### 2.1.1. Skládky sypkých materiálů

Typ a velikost skládky závisí na prostorovém uspořádání okolních technologií, požadované kapacitě skládky a v neposlední řadě na typu skládkového stroje. Tento návrh musí být proveden tak, aby bylo zajištěno maximální fungování celé skládky s minimem vynaložených nákladů.

##### 2.1.1.1 Účely skladování

- Vytváření zásob pro případ nedostatku suroviny
- Srovnání rozdílnosti dodávky a spotřeby materiálu v závodech
- Zvládnutí všech operací týkajících se přepravy a překládky materiálu
- Plynulý přísun materiálu do závodu
- Smíchání a zprůměrování chemických a fyzikálních vlastností jednoho prvku

##### 2.1.1.2 Podmínky skladování sypkých materiálů:

- Uložení co největšího množství skladovaného materiálu
- Stavební i technologické zařízení musí splňovat na něj kladené požadavky jako je velká spolehlivost, bezpečnost a životnost
- Musí být brány v úvahu vlastnosti sypkých materiálu (sypaný úhel, rypaný odpor materiálu, lepivost, ...)
- Záleží také jaký materiál má být skladován, jestli musí být krytý nebo snese venkovní skladování
- Musí být respektovány normy a bezpečnost vůči životnímu prostředí. U krytých skládek se také posuzuje jejich architektonická stránka vůči krajině



### 2.1.2. Skládkové stroje

Obecně lze říct, že skládkové stroje jsou zařízení sloužící k manipulaci se sypkými materiály při jejich dopravě na skládku a následném odběru ze skládky.

Skládkové stroje mají dvě základní využití. První je ukládání nebo odběr skladovaného materiálu a druhé využití je homogenizace různých typů materiálů. Se skládkovými stroji se můžeme setkat v nejrůznějších těžebních, energetických nebo hutních provozech. Tyto stroje jsou také využívány na různých materiálových překladištích ať již přístavních, vlakových nebo automobilových.

Skládkové stroje mohou být jednoúčelové nebo víceúčelové. Jednoúčelové stroje slouží buď k zakládání materiálů do skládek, nebo k jeho odběru a naložení na pásové dopravníky. Víceúčelové stroje nebo také kombinované mohou plnit tyto funkce společně.

Skládkové stroje slouží k odebírání uskladněného sypkého materiálu a jeho ukládání na odsunový pás. Použití těchto strojů je především výhodné v případě, že na sklad přichází materiály nestejné kvality. Tyto stroje umožňují homogenizaci materiálu, což je výhodné a díky níž na výstupu dosahuje materiál jednotné kvality a umožňuje optimalizaci následných technologických procesů.

Provedení a konstrukce skládkových strojů je rozličné s ohledem na požadovaný výkon zakládání a odběru materiálu, typ skladovaného materiálu, požadavky homogenizaci a místním prostorovým uspořádání. Při návrhu jednotlivých typů strojů musí být kladen důraz především na maximální využití prostorů skladu, plnění požadavků technologie, provozní bezpečnost a spolehlivost. Nové stroje jsou také navrhovány s důrazem na vytvoření vhodných pracovních podmínek obsluhy a použití moderních prvků pro ovládání a řízení.

Většina strojů je koncipována jako poloautomatické s obsluhou, která zajišťuje pouze dohled nad správnou funkcí stroje. Poloautomatický systém po uvedení do chodu provádí sérii předdefinovaných příkazů v přesném sledu tak, aby byl dodržen technologický postup zakládání a odběru materiálu. Zároveň tento systém neumožní přetěžování stroje vlivem neodborné obsluhy. Stroje mohou být navrhovány i jako plně automatické, vybavené měřicí technikou, která umožňuje průběžně zjišťovat základní parametry materiálu na skládce a vyhodnocovat nejvhodnější postup při zakládání a odebírání materiálu. Tento plně automatický systém nemusí být pro provozovatele skládky vždy ideální, jelikož zde hrozí možnost selhání a také pořizovací náklady na tento systém nejsou zanedbatelné.

Vzhledem k přesně vymezenému prostoru skladu jsou skládkové stroje převážně konstruovány na kolejových podvozcích. Pohony vybraných strojních uzlů jsou v provedení s hydromotory nebo s frekvenčně řízenými elektromotory.

Ovládání skládkových strojů je řešeno s využitím programovatelných automatů v ovládacích systémech. Kabiny strojníka jsou vybaveny klimatizací a strojní zařízení obsahuje zabezpečovací prvky.

Mezi klíčové výrobce skládkových strojů patří kromě společnosti VÍTKOVICE v České republice například společnosti PRODECO, PSP Přerov, Krušohorské strojírný, atd.. Mezi významné zahraniční výrobce patří např. společnosti FAM, Thyssen-Krupp, KOCH, MAN, SCHADE.

### **2.1.3. Pásové dopravníky**

Nedílnou součástí skládek materiálů jsou také pásové dopravníky, které přisouvají materiál na skládku nebo naopak odvázejí materiál k dalšímu zpracování. Je zde tedy úzká vazba mezi skládkovými stroji a pásovými dopravníky. Tyto zařízení fungující společně nazýváme technologický celek.

### **2.1.4. Homogenizace**

Je zakládání materiálu do tenkých vrstev tak, aby při jeho odběru procházel nabírací orgán skládkového stroje co největším počtem těchto vrstev. Tento postup zaručí, že každý prvek nabíracího orgánu bude obsahovat určité množství materiálu z každé vrstvy. Stupeň účinnosti homogenizace, chemické a fyzikální vlastnosti materiálu se přitom určují statistickými metodami ze vzorků materiálu, který je pravidelně odebíraný před a po homogenizaci. K tomuto dokonalému promísení je nutné dobře navrhnout celou technologii zakládání a odebírání materiálů.

## 2.2. Zakládání materiálu

Při výběru metody zakládání je potřeba brát ohled na technologický proces, kvůli kterému je skládka budována.

Způsoby zakládání skládek lze rozdělit následovně:

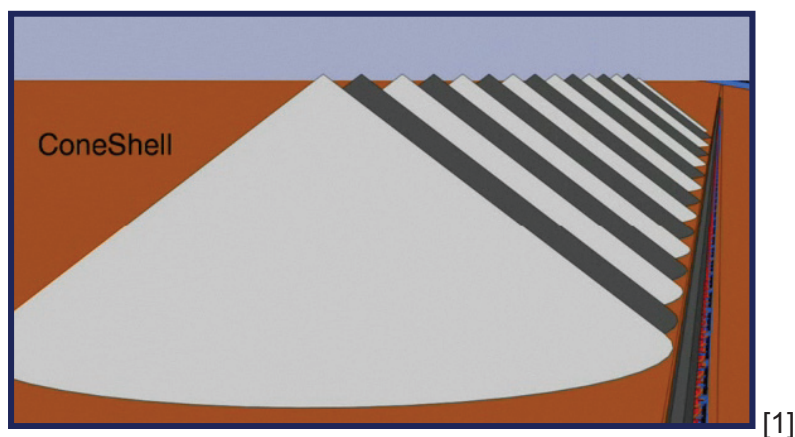
- podle tvaru založené hromady
  - podélné, kde je osa skládky přímá, průřez je trojúhelníkový nebo lichoběžníkový
  - kruhové, kde osou skládky je kružnice
- podle průřezu založené hromady
  - trojúhelníkové
  - lichoběžníkové
- podle metody zakládání
  - cone-shell
  - chevron
  - windrow
  - strata
  - chevcon

### 2.2.1. Metody zakládání

Materiál může být zakládán na skládku následujícími metodami, přičemž volba správné metody je závislá na technologickém procesu využití materiálu a požadavcích na jeho homogenizaci.

#### 2.2.1.1 Cone-shell

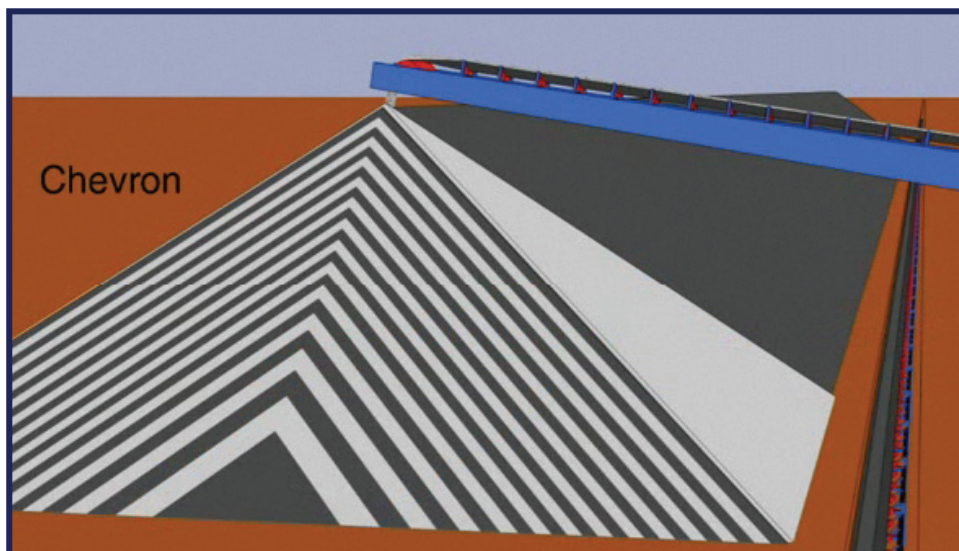
Metoda kuželových vrstev pod přirozeným sypným úhlem materiálu je založen první kužel do plné výšky hromady a poté jsou k němu přispávány postupně jednotlivé kuželové vrstvy, až na celou délku hromady



Obr. 2.1 metoda zakládání materiálu cone - shell

### 2.2.1.2 Chevron

Hromada je na dně skládky po celé své délce tvořena základní trojúhelníkovou vrstvou, na kterou jsou pod přirozeným sypaným úhlem oboustranně přisypávány lichoběžníkové vrstvy až do plné výšky hromady. Může být zakládána zařízeními pojezdějícími plynule podél hromady po celé její délce.

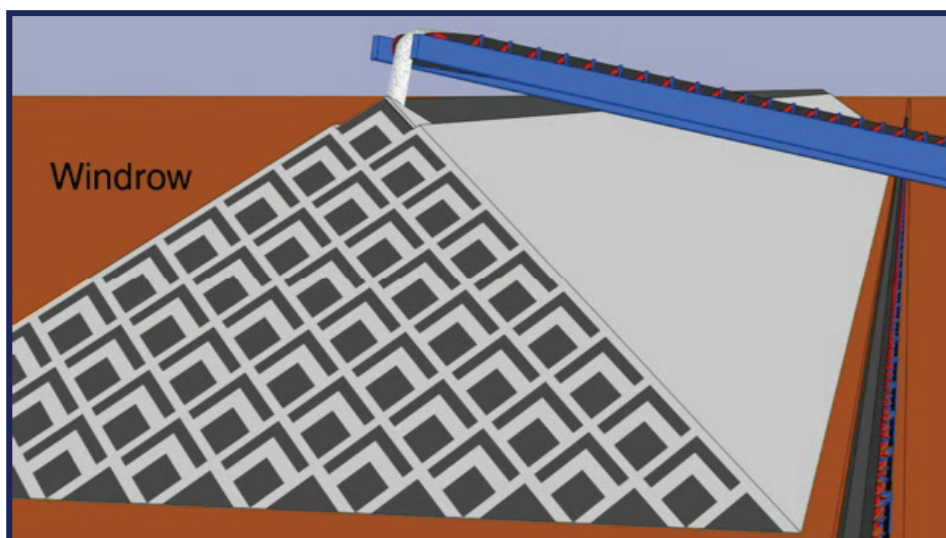


[1]

Obr. 2.2 metoda zakládání materiálu cevron

### 2.2.1.3 Windrow

Hromada je na dně skládky po celé své délce tvořena základními trojúhelníkovými vrstvami založenými metodou chevron, mezi které jsou dále pod přirozeným sypaným úhlem přisypávány stejnou metodou kosočtverečné vrstvy až do plné výšky hromady.

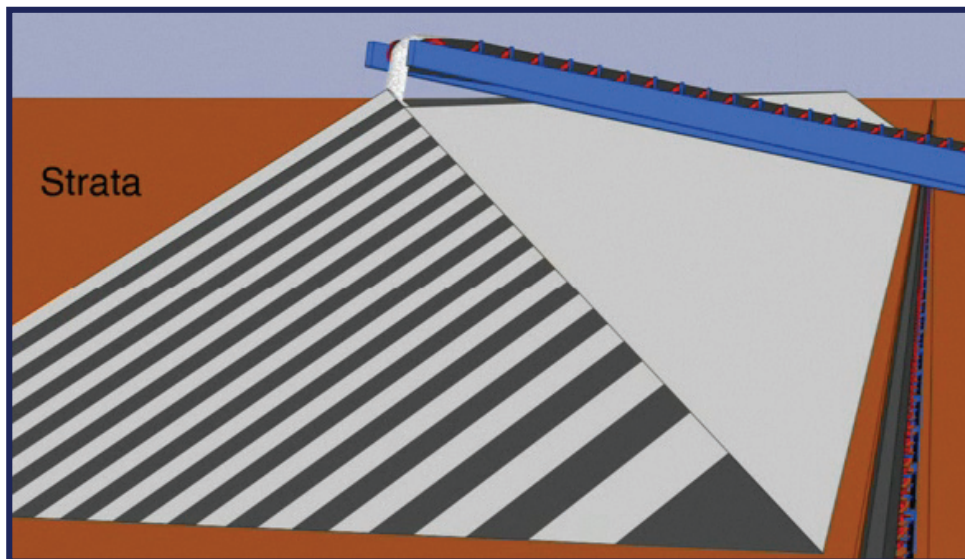


[1]

Obr. 2.3 metoda zakládání materiálu windrow

#### 2.2.1.4 Strata

Hromada je na dně skládky po celé své délce tvořena základní trojúhelníkovou vrstvou, na kterou jsou dále pod přirozeným sypným úhlem jednostranně přisypávány lichoběžníkové vrstvy do plné výšky hromady.

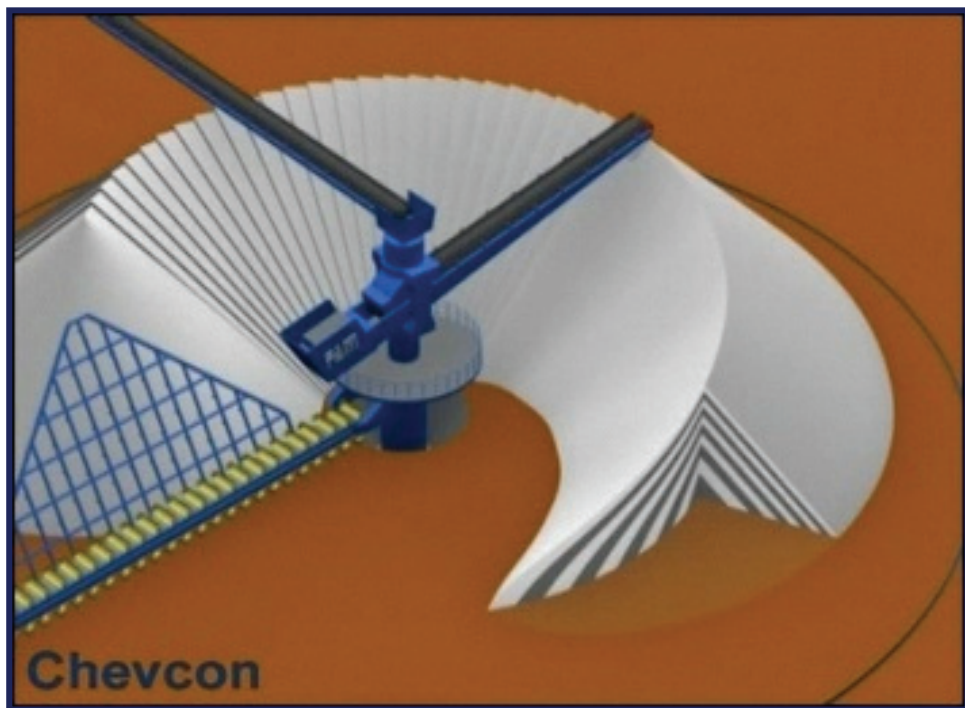


[1]

Obr. 2.4 metoda zakládání materiálu strata

#### 2.2.1.5 Chevcon

Metoda zakládání hromad kruhových skládek. Hromada je zakládána plynulým kruhovým pohybem při současné změnou úhlu výložníku zakladače.



[1]

Obr. 2.5 metoda zakládání materiálu chevcon



### 2.3. Typy přepravovaných materiálů

Základní sypké materiály, které jsou skladovány a pro něž jsou skládkové stroje navrhovány nejčastěji:



Obr. 2.6 vápenec



Obr. 2.7 uhlí



Obr. 2.8 sádrovec



Obr. 2.9 dřevní štěpka



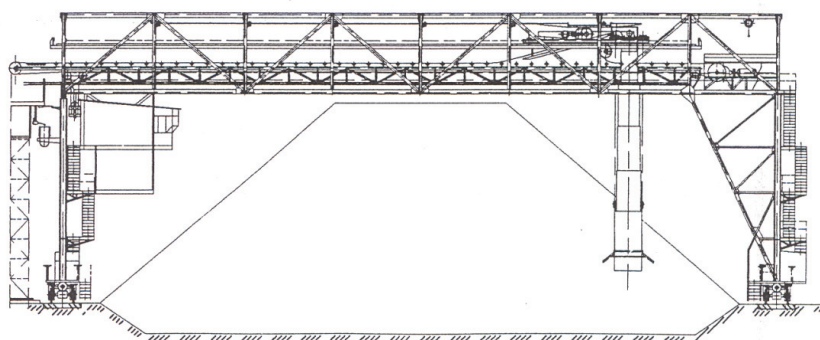
Obr. 2.10 železná ruda

## 2.4. Zakládací stroje

Zakladače slouží k ukládání materiálu z pásové dopravy na skládku. Tyto stroje jsou jednoúčelové a musí vždy pracovat v kombinaci s naběračem.

### 2.4.1. Portálový zakladač

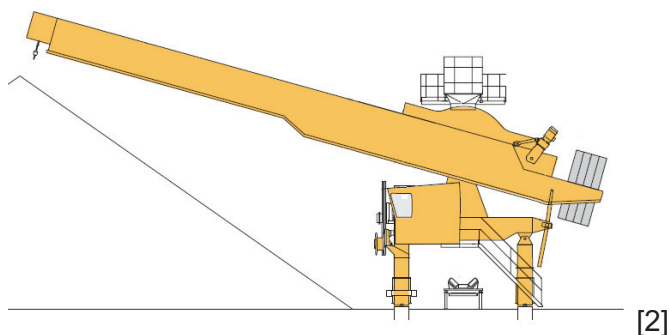
Tento typ je určen k ukládání sypkých materiálů za účelem jejich homogenizace nebo skládkování na velkokapacitních venkovních skládkách a umožňuje ukládání dopravovaného materiálu v tenkých vodorovných vrstvách. Zařízení je vybaveno zakládacím pásem se shazovacím vozíkem pojíždějícím po horní konstrukci stroje a sype materiál do teleskopické výsypky. Teleskopická výsypka výrazně snižuje prašnost a také zajišťuje rovnoměrné rozvrstvení materiálu na skládce.



Obr. 2.11 pásový homogenizační zakladač

### 2.4.2. Výložníkový zakladač

Tento stroj pojíždí u paty hromady a zakládá materiál na hromadu pomocí pásového dopravníku umístěného na rameně výložníku. Přísunový pás pro tento stroj je veden na úrovni terénu a na zakladač je přesypán přes shazovací vůz který je součástí tohoto zakladače.



Obr. 2.12 výložníkový zakladač

## 2.5. Nakládací stroje a shrnovače

Naběrače jsou jednoúčelové stroje sloužící k odběru založeného materiálu ze skládky a naložení tohoto materiálu na odsunovou pásovou dopravu.

### 2.5.1. Boční shrnovače

Tyto stroje jsou určeny k odebrání sypkých materiálů z hromad předem založených soustavou pojízdných reverzních dopravních pásů nebo samostatným pojízdným zakladačem.

Hlavním pracovním nástrojem těchto strojů je shrnovací řetěz, který materiál hrne směrem k výsypce a tou propadává na odsunový pás. Vzhledem ke způsobu zakládání a odběru je dosaženo značné homogenity skladovaného materiálu.

Tyto stroje můžeme dále dělit na:

- Portálové
- Poloportálové
- Podélné
- Čelní

#### 2.5.1.1 Boční shrnovač portálový

Konstrukce tohoto stroje stojí obkročena kolem hromady. Shrnovací mechanismus hrne materiál směrem k výsypce umístěné na jedné straně stroje. Na opačné straně stroje je přihrnovací mechanismus. Toto řešení zkracuje a zefektivňuje práci shrnovacího výložníku především v případě nasypané hromady kdy by byla v záběru cca pouze  $\frac{1}{2}$  shrnovacího řetězu.

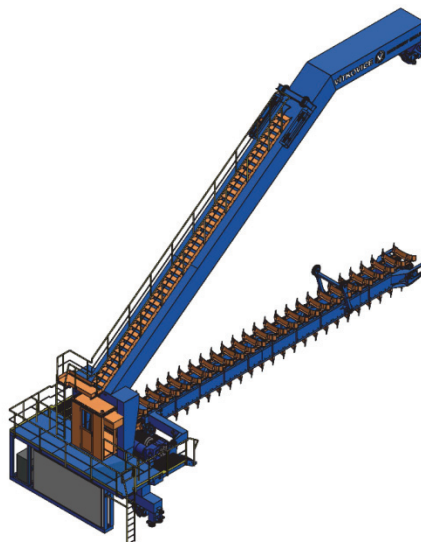


Obr. 2.13 boční shrnovač portálový



### 2.5.1.2 Boční shrnovač poloportálový

Jedná se o nejrozšířenější typ bočního shrnovače. Tento stroj pojíždí po kolejnicích s tím že v dolní části pod kabinou jsou umístěny dva podvozky a na šikmé příčli je umístěn jeden podvozek. Pomocí vrátku zdvihu vodiče shrnovacího řetězu je regulován jeho sklon. Tyto stroje jsou využívány převážně v krytých skladech, kde fungují spolu se základacím pásem osazeným shazovacím vozíkem a odsunovým dopravníkem.



Obr. 2.14 boční shrnovač poloportálový

### 2.5.1.3 Boční shrnovače podélný

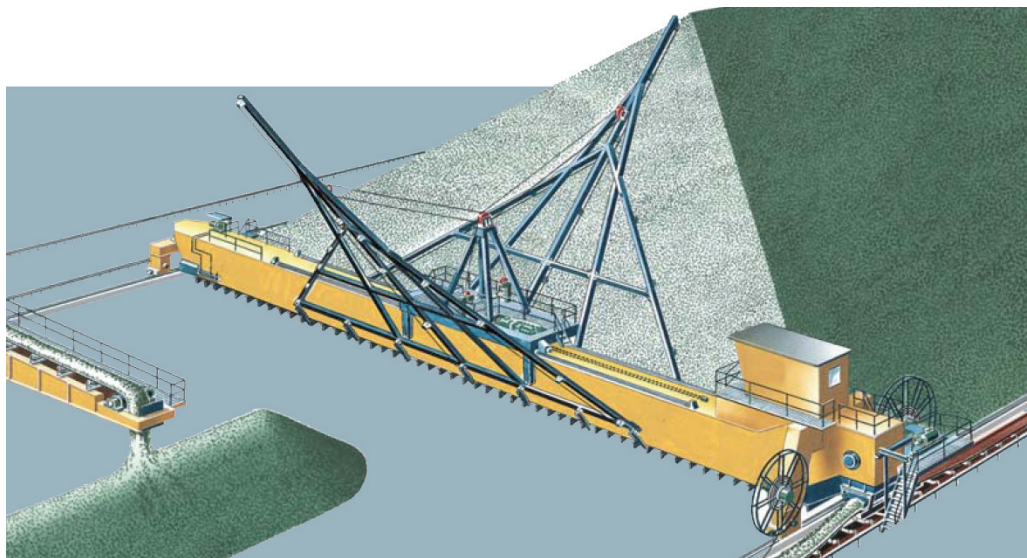
Tento stroj pojíždí po straně hromady a materiál odebírá pomocí ramene se shrnovacím řetězem. Stroj je vyvažován protizávažím umístěným za kabinou strojníka.



Obr. 2.15 boční shrnovač podélný

### 1.1.1.1 Boční shrnovač čelní

Tyto stroje pomoci pohybu narušovacích brán nutí sesouvat skladovaný materiál k patě hromady a tím k odebíracímu ústrojí. Stroj lze využít pro rovné kryté i venkovní sklady a také pro kruhové skládky.

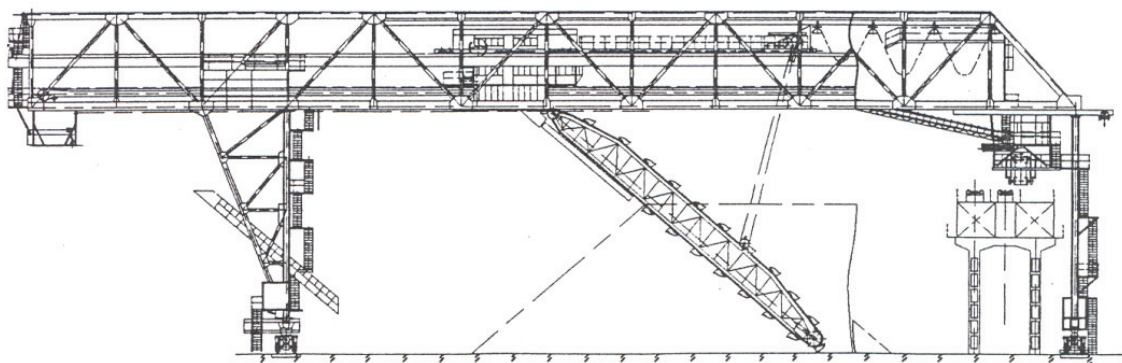


[2]

Obr. 2.16 boční shrnovač čelní

### 2.5.2. Portálový korečkový naběrač

Tento stroj je určen pro odběr materiálu z velkokapacitních venkovních skládek sypkých materiálů, které byly založeny portálovým zakladačem ve vodorovných vrstvách. Příčným odebíráním materiálu korečkovým řetězem ve směru od paty k vrcholu hromady a za současného poježdění naběrače do krajních poloh dochází k promísení navrstveného materiálu a tím k jeho homogenizaci. Odsunový pás je umístěn uvnitř ocelové konstrukce a po celé horního portálu. Shrnovací řetěz vysypává nabraný materiál na tento odsunový pás.



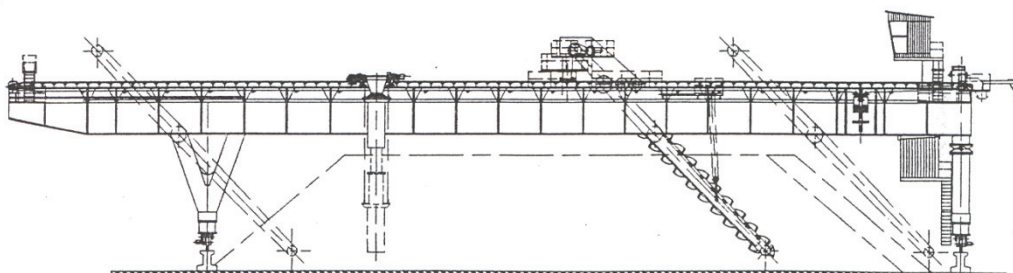
Obr. 2.17 portálový korečkový naběrač

## 2.6. Kombinované skládkové stroje

Tyto stroje umožňují kombinaci zakládání a odebírání. Tyto činnosti nelze provádět současně, ale dochází tímto ke snížení pořizovacích i provozních nákladů.

### 2.6.1. Portálový zakladač – naběrač korečkový

Přisun i odsun materiálu je řešen pomocí reverzního pásového dopravníku umístěného na horní straně ocelové konstrukce. Materiál je zakládán pojezdem shazovacího vozíku a teleskopické výsypky. Nabírání materiálu je realizováno pomocí korečkového řetězu zvedajícího materiál na pásový dopravník. Nasazení tohoto stroje je možné tam, kde přisun materiálu a jeho odběr ze skládky se časově nepřekrývá.



Obr. 2.18 zakladač naběrač homogenizační

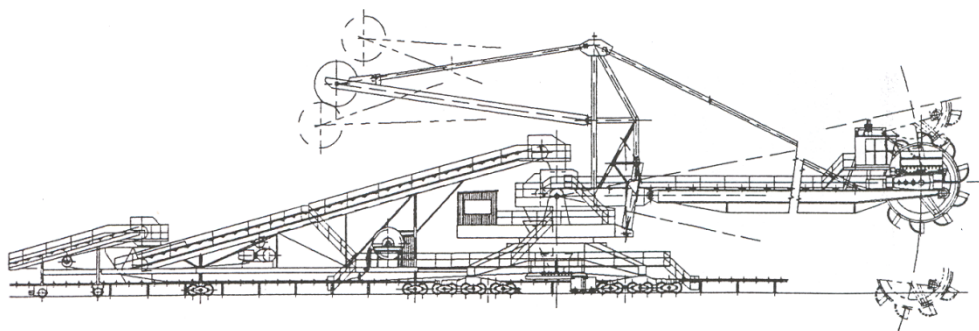


Obr. 2.19 stroj PZNHk umístěný v ARCELOR MITTAL Ostrava



### 2.6.2. ZNKk zakladač – naběrač korečkový

Tento kombinovaný skládkový stroj je určen pro přepravu sypkých hmot na venkovních skládkách. Na kolejovém podvozku je otočně uložena horní stavba stroje. Při zakládání na skládku je přepravovaný materiál přiváděn průběžným dopravním pásem skládky přes shazovací vůz do středové výsypky skládkového stroje a odtud vynášen výložníkovým dopravním pásem na určené místo na skládce. Při odebírání ze skládky je přepravovaný materiál nabírán korečkou otáčejícího se kola a reverzním výložníkovým pásovým dopravníkem dopravován středovou výsypkou na průběžný pásový dopravník skládky.



Obr. 2.20 zakladač naběrač homogenizační

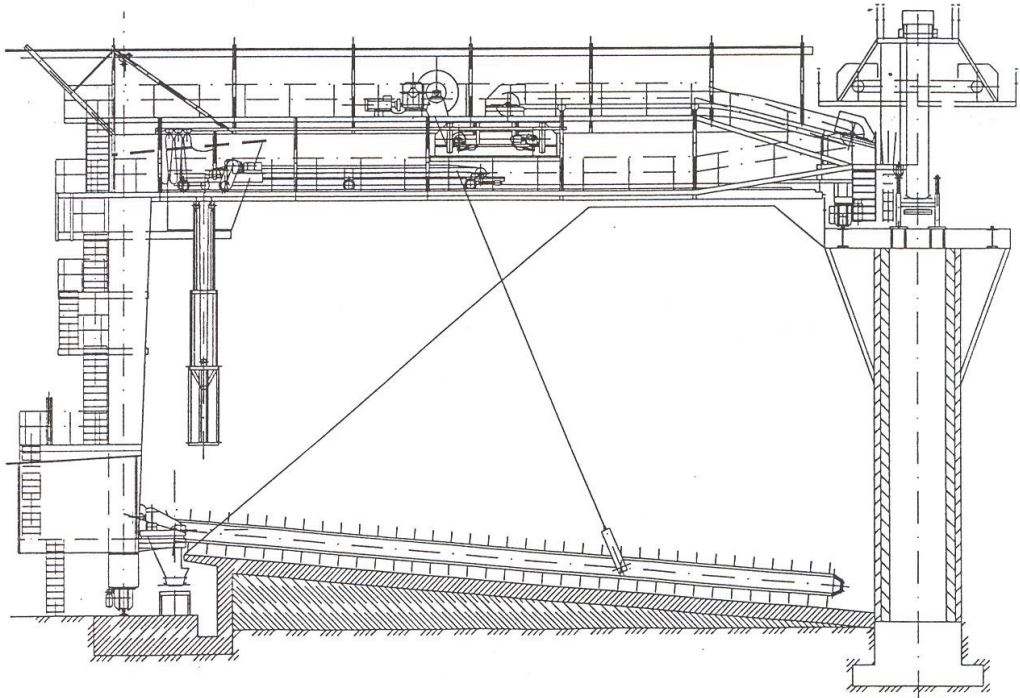


Obr. 2.21 stroj ZNKk umístěný v El. Chvaletice

### 2.6.3. SZHk shrnovač zakladač – naběrač homogenizační

Tyto stroje byly vyvinuty za účelem dosažení co nejvyššího stupně homogenizace sypkých hmot skladovaných na otevřených a krytých skládkách.

Materiál je zakládán přes přísunový skládkový pás a shazovací vůz soustavou dopravních pásů stroje, z nichž poslední je vybaven teleskopickou výsypkou. Ze skládky je materiál shrnován hřebly shrnovacího řetězu. Vzhledem ke způsobu zakládání a shrnování skladovaného materiálu je dosaženo jeho vysoké homogenity.



Obr. 2.22 boční shrnovač zakladač homogenizační

### 3. Konstrukční návrh řešení ocelové konstrukce

Tuto diplomovou práci jsem zaměřil na úpravu a výrazné zjednodušení stávající ocelové konstrukce, a tím snížení jak výrobních nákladů, tak nákladů spojených s údržbou celého stroje.

#### 3.1. Popis stávající ocelové konstrukce

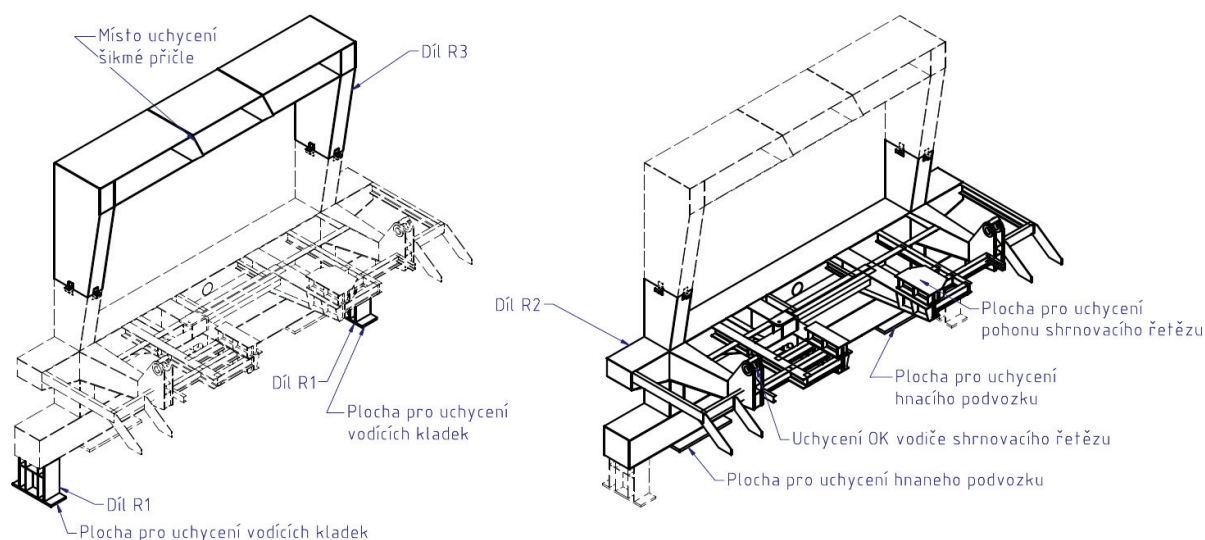
Pro porovnání stávající a nové konstrukce v tomto bodě popíšu stávající řešení ocelové konstrukce.

Stávající ocelovou konstrukci jsem si rozdělil na 7 základních uzlů:

- OK dolního rámu
- OK vodiče shrnovacího řetězu
- OK šikmé příčle
- OK plošiny +1,255 a +2,500
- OK plošiny +5,400
- Zaplechování plošin a schodiště
- Zábradlí

##### 3.1.1. OK dolního rámu

Dolní rám je vyrobený jako uzavřený z plnostěnných nosníků. Vzhledem k rozměrům je OK dolního rámu rozdělená na dílce R1 až R3, které jsou vzájemně svařeny montážními svary při montáži na staveništi. Hlavní část dolního rámu tvoří dílec R2, ke kterému jsou ostatní dílce montážně přivařeny. Na spodní straně dolního rámu (dílec R2) jsou vytvořeny dosedací plochy pro uchycení hnacího a hnaného podvozku, rámy pro uložení vodících kladek (dílec R1). V zadní části dolního rámu (dílec R2) jsou vytvořeny dosedací plochy pro uchycení OK plošiny +2,500. Uprostřed horní části dolního rámu (dílec R2) je vytvořený rám (dílec R3), do kterého je **vsazena kabina řidiče** a v jeho horní části je uchycena OK šikmé příčle. V této části dolního rámu (dílec R2) jsou rovněž vytvořeny plnostěnné nosníky s konzolami pro uchycení OK vodiče shrnovacího řetězu, svařované nosníky pro uložení pohonu shrnovacího řetězu s výsypkou a pohonu zvedání vodiče shrnovacího řetězu. Na každém okraji horní části dolního rámu (dílec R2) jsou umístěny schodišťové stupně pro umožnění vstupu na skládku.



Obr. 3.1 OK dolního rámu

### 3.1.2. OK vodiče shrnovacího řetězu

Vodič shrnovacího řetězu je vyrobený ze svařovaných nosníků tvaru I, vzájemně propojených zavětrováním z válcovaných profilů. Po celé délce je ve vodiči vytvořeno vedení pro shrnovací řetěz. Přibližně ve dvou třetinách délky je do vodiče vsazena trubka, ve které je na čepu uložen závěs pro zvedání a spouštění vodiče. Na začátku vodiče jsou k nosníkům připojeny třmeny s oky pro uložení vodiče na čepy. Na konci vodiče jsou oba nosníky rozšířeny a jsou v nich vytvořeny zářezy, jako vedení pro napínací zařízení shrnovacího řetězu. Po obou stranách horní části nosníků jsou přivařeny konzoly pro uchycení rozvodů mazání shrnovacího řetězu. Z důvodu dopravy je OK vodiče shrnovacího řetězu rozdělena na dvě části, které jsou spolu svařené montážními svary při montáži na staveništi.

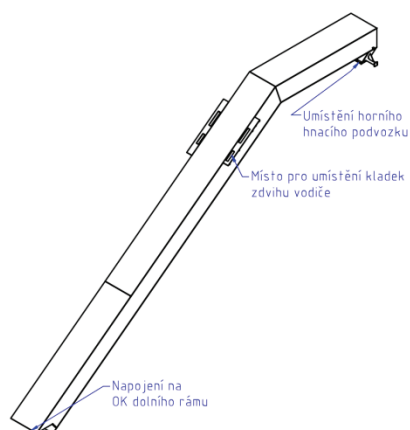


Obr. 3.2 OK vodiče shrnovacího řetězu

### 3.1.3. OK šikmé příčle

Šikmá příčle je provedena jako plnostěnná, svařovaná konstrukce. Šikmá příčle je vetknutá do horní části OK dolního rámu (dílce R3) a přivařena montážními svary na staveništi

Na horní vodorovné části příčle je na konci vytvořena patka pro uchycení horního hnacího podvozku a patky pro uchycení nárazníků. Poblíž místa zlomu šikmé příčle jsou po jejich stranách vytvořeny konzoly pro uložení lanových kladek zvedání vodiče shrnovacího řetězu.



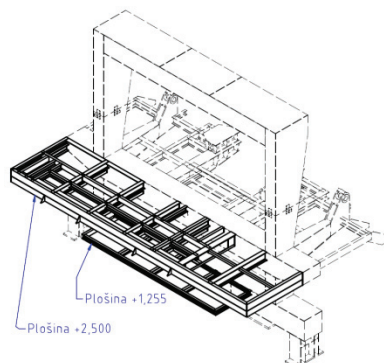
Obr. 3.3 OK šikmé příčle

### 3.1.4. OK plošiny +1,255 a +2,500

Plošiny jsou provedené jako svařované konstrukce z válcovaných profilů. Plošiny jsou přivařeny na OK dolního rámu.

Na plošině +1,255 jsou vytvořeny dosedací plochy pro uchycení mazacího přístroje se zásobníkovou nádrží mazacího oleje.

Na plošině +2,500 je umístěna kabina strojníka s elektrorozvaděči.

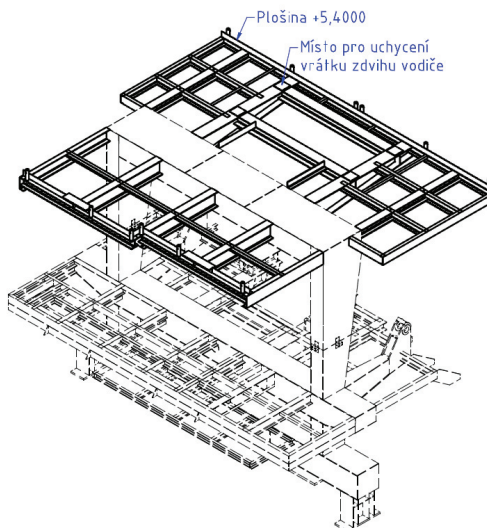


Obr. 3.4 OK plošin +1,255 a +2,500



### 3.1.5. OK plošiny +5,400

Plošina +5,400 je provedena jako svařovaná konstrukce z válcovaných profilů a plechů. Plošina +5,400 je uložena na horní části OK dolního rámu (dílec R3) a je k němu přivařena. Přístup na plošinu +5,400 je z plošiny +2,500 pomocí žebříku, který je opatřený ochranným košem. Na plošině jsou umístěny patky pro uchycení vrátku zdvihu výložníku. Vrátek je umístěn v prostoru pod šikmou příčlím.



Obr. 3.5 OK Plošiny +5,400

### 3.1.6. Zaplechování plošin a schodiště

Zaplechování jednotlivých plošin je provedeno slzičkovými plechy o tloušťce 3mm - 6 mm tak aby umožňovalo pohyb obsluhy stroje.

Schodiště jsou určeny k přístupu ke kladkám zdvihu vodiče shrnovacího řetězu při jejich údržbě a opravách. Schodiště je vytvořené ze dvou bočnic z plechů tl. 6mm, které jsou vzájemně sešroubované pomocí schodišťových stupňů. Celé schodiště je rozdělené na 3 díly, které jsou vzájemně svařené montážními svary při montáži na staveništi. Spodní část obou bočnic je opatřena přivařenými hranoly, kterými je schodiště přivařeno montážními svary uprostřed šikmé části šikmé příčle při montáži na staveništi.

### 3.1.7. Zábradlí

Zábradlí je svařované z trubek Ø44,5 a Ø26,9 a je na sloupcích opatřené patkami pro uchycení šrouby na OK plošin.

## **3.2. Popis úprav nové ocelové konstrukce**

V rámci úprav stávající ocelové konstrukce jsem se snažil minimalizovat a optimalizovat rozmístění jednotlivých technologických zařízení nutných pro fungování stroje.

### **3.2.1. Ok dolního rámu a šikmá přičle**

Ok dolního rámu se nově skládá pouze z vodorovného rámu, ze kterého, vycházejí dva hlavní nosníky. Tyto nosníky se následně lomí a tvoří dvě šikmé přičle které se sbíhají ve vrchní části. Mezi tyto dva hlavní nosníky lze umístit maximálně zvednutý vodič shrnovacího řetězu. Toto řešení šetří materiál z důvodu menšího úhlu šikmé přičle jelikož není nutné obcházet vodič shrnovacího řetězu.

#### **3.2.1.1 Podvozky dolní**

Dolní podvozky jsou plně integrovány do vodorovného rámu a tvoří již samostatnou součást. Tímto řešením mi vznikají vyšší nároky na opracování dolního nosníku, ovšem je zde značná materiálová úspora. Zůstala zachována konfigurace jednoho hnaného a jednoho hnacího podvozku. Tento uzel jsem již dále v rámci této práce detailněji neřešil.

#### **3.2.1.2 Podvozek horní**

Horní podvozek navrhuji oproti stávajícímu řešení použít hnací s pohonem, jelikož v minulosti docházelo k přičení ocelové konstrukce. Synchronizace horního a dolního podvozku bude provedena pomocí frekvenčního měniče. Podvozek je řešen jako samostatný díl uchycený na ocelovou konstrukci šikmé přičle.

#### **3.2.1.3 Vodící kladky**

Vodící kladky zajišťují přenos bočních sil vznikajících při přičení nebo bočních sil vznikajících při technologickém procesu vyhrabávání materiálu ze skladovacího boxu, do kolejnice pojezdové dráhy stroje. Vodící kladky jsou umístěny přímo na vodorovném rámu.

#### **3.2.1.4 Kladky zdvihu vodiče shrnovacího řetězu**

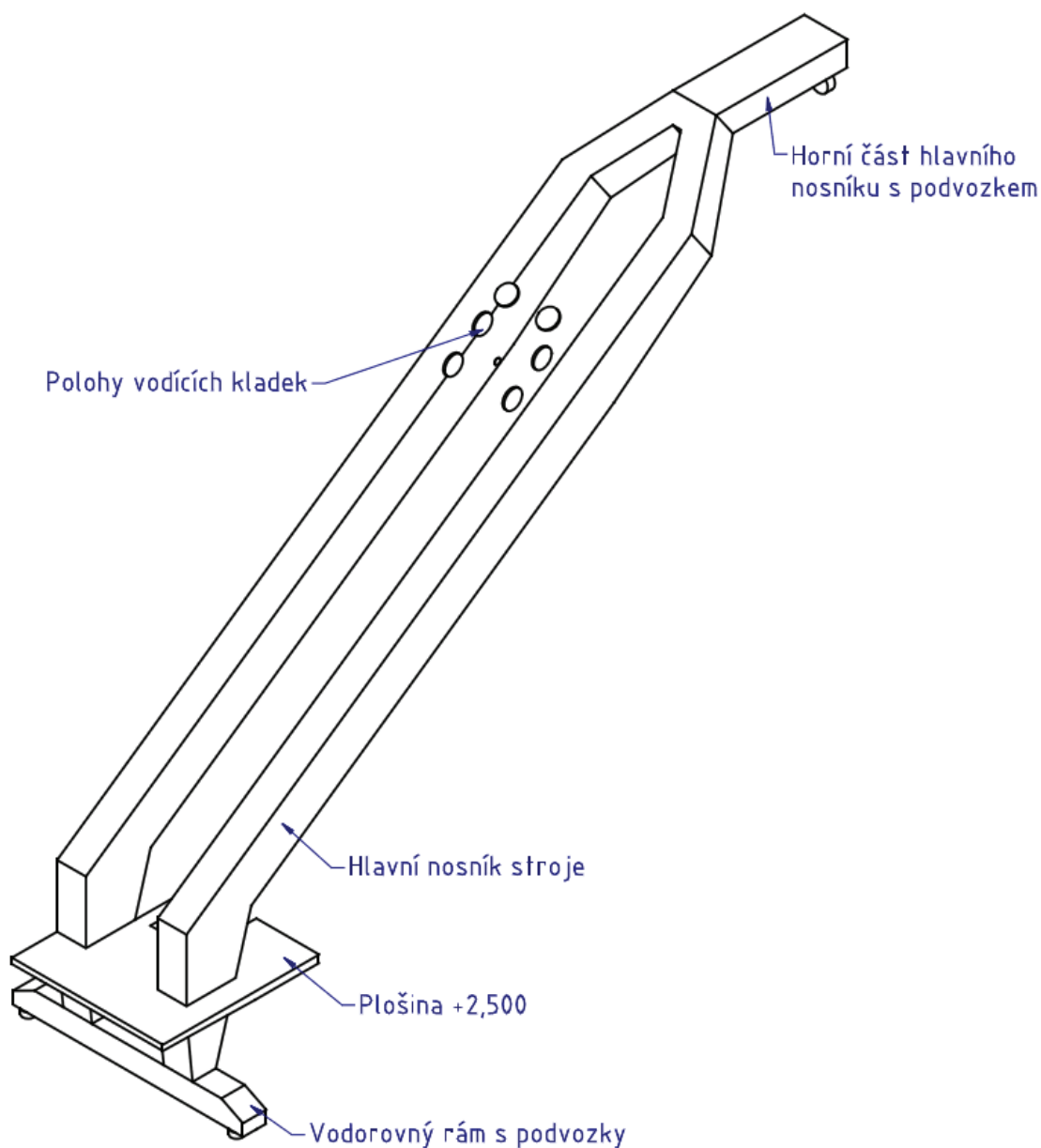
Kladky zdvihu vodiče shrnovacího řetězu a lano k novému vrátku budou nově umístěny v prostoru mezi dvěma nosníky. Detailněji se tomuto uzlu budu věnovat v další části této práce.

### 3.2.1.5 Kabina strojníka

Kabina strojníka je umístěna v prostoru mezi dvěma nosníky tak, aby obsluha stroje měla dostatečný přehled o práci stroje i dění v okolí stroje. Kabinu strojníka předpokládám vybavit ovládacím křeslem.

### 3.2.2. Plošina +2,500

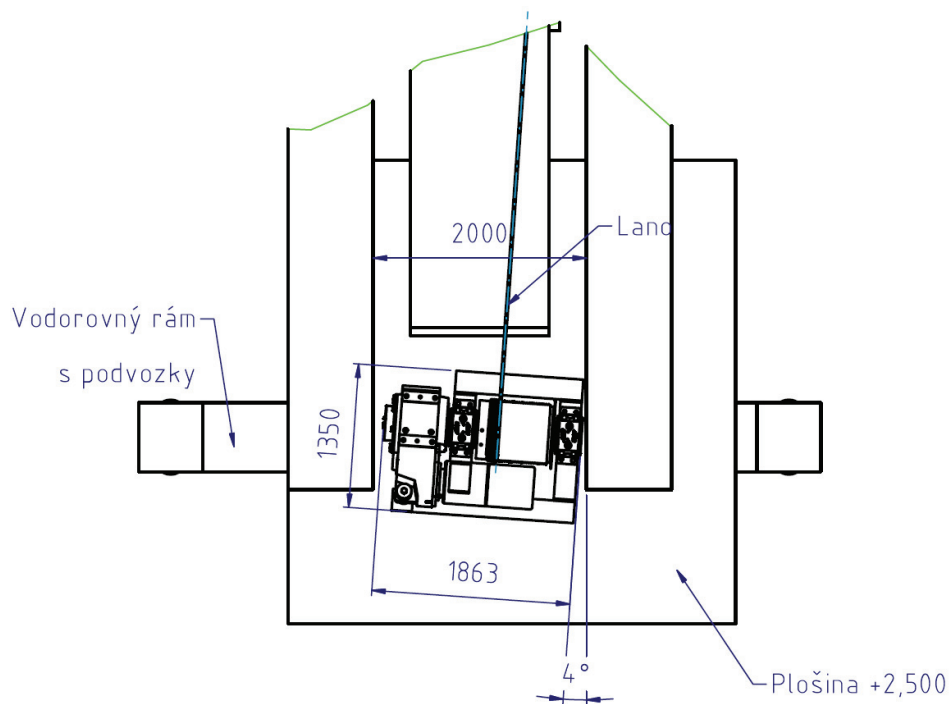
Tato plošina zůstala v mém návrhu jako jediná a je na ní umístěna většina technologie. V přední části je podobně jako u stávajícího stroje uchycen vodič shrnovacího řetězu i pohon shrnovacího řetězu. V zadní části je umístěn vrátek zdvihu vodiče řetězu. Pod touto plošinou je podvěšena rozvaděčová skříň s frekvenčními měniči a normalizovaná olejová nádrž s mazacím přístrojem.



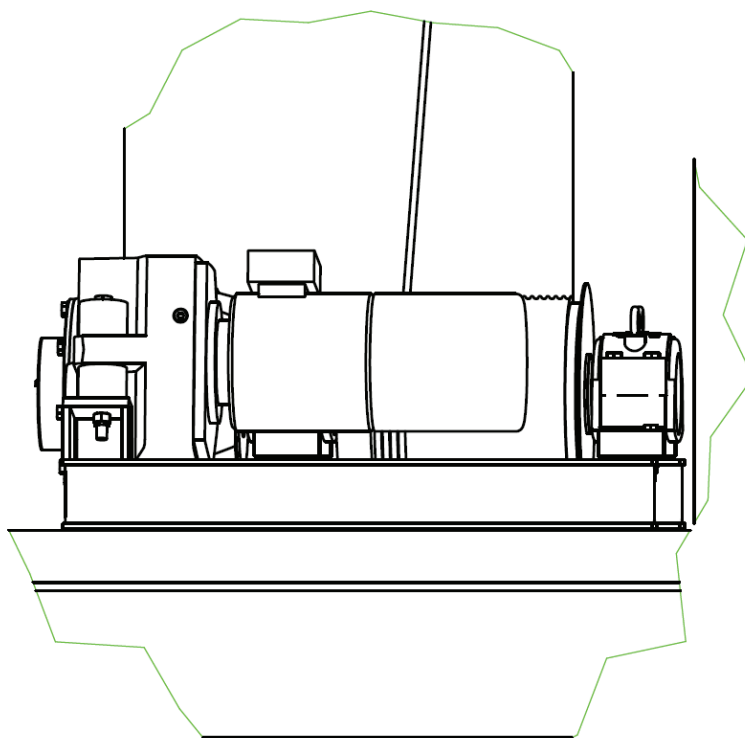
Obr. 3.6 návrh OK nového stroje

## 4. Konstrukční návrh umístění vrátku zdvihu výložníku

Vrátek zdvihu výložníku jsem umístil na plošinu +2,500 kde je možný dobrý přístup z důvodu údržby a mazání. Tento vrátek je vytočen oproti ose stroje o



Obr. 4.1 umístění vrátku horní pohled



Obr. 4.2 zadní pohled na umístění vrátku

## 5. Výpočet vrátku zdvihu

### 5.1. Zadání

Výpočet lanového vrátku je prováděn na základě parametrů, které vycházejí z nového řešení ocelové konstrukce stroje. Část zadávacích parametrů jsme ověřili pomocí 3D modelu shrnovače který jsem pro účely této diplomové práce vytvořil.

Pomocí lanového vrátku, převáděcích a vyrovnávacích kladek je realizováno spouštění a zdvih vodiče shrnovacího řetězu.

Pohon zvedání vodiče je tvořen drážkovaným lanovým bubnem uloženým ve valivých ložiscích, který je pomocí vysokopevnostních šroubů přes ložisková tělesa upevněn k rámu pohonu. Celá pohonná jednotka je pomocí vysokopevnostních šroubů upevněna k ocelové konstrukci stroje. Na výstupním hřídeli lanového bubnu je uchycena pomocí svěrného spoje hnací jednotka. Krouticí moment od pohonné jednotky je přenášen pomocí zesílených pryžových silentbloků do rámu pohonu. Lana jsou k lanovému bubnu upevněna pomocí lanových přídržek.

Vodič shrnovacího řetězu je na nosná lana zavěšen pomocí kyvného závěsu s převáděcími kladkami.

### 5.2. Zadávací parametry

Pro návrh vrátku zdvihu vodiče shrnovacího řetězu je nutné zjistit úplné zadávací parametry minimálně v tomto rozsahu:

- Tažná síla vrátku
- Rychlost zvedání výložníku
- Počet navíjených konců lana
- Lanový převod závěsu

#### 5.2.1. Tažná síla vrátku

Tažná síla vrátku určí minimální výkon potřebný pro zdvih vodiče shrnovacího řetězu. Tuto tažnou sílu budu zjišťovat pro tři mezní polohy vodiče shrnovacího řetězu a výsledně budu vrátek dimenzovat na nejvyšší zjištěnou sílu pro zdvih vodiče shrnovacího řetězu.

##### 5.2.1.1 Ověření nejhorší možné zatěžovací síly

Hmotnost vodiče shrnovacího řetězu včetně shrnovacího řetězu, napínání, vodících lišt a krytů byla určena na základě zpracování 3D modelu

$$m_Q = 14065,7 \quad \text{kg} \quad \text{hmotnost OK výložníku bez materiálu}$$

Procentuální nárůst hmotnosti vodiče shrnovacího řetězu vlivem nalepení materiálu byl určen na základě zkušeností z provozem obdobného stroje na totožném materiálu. Tato hodnota se bude v průběhu provozu stroje měnit v závislosti na provádění údržby a čištění stroje a také s ohledem na provozu celé skládky.

$$\Delta Q_{\text{mat}} = 50 \quad \% \quad \text{Procentuální nárůst hmotnosti výložníku}$$

Výpočet hmotnosti ocelové konstrukce vodiče shrnovacího řetězu s nalepeným materiálem.

$$\begin{aligned} m_{Q_{\text{mat}}} &= \frac{m_Q}{\Delta Q_{\text{mat}}} \\ m_{Q_{\text{mat}}} &= \frac{14065,7}{0,50} \\ m_{Q_{\text{mat}}} &= \underline{\underline{21098,6 \text{ kg}}} \end{aligned} \quad 5.1$$

$$m_{Q_{\text{mat}}} = 21098,6 \quad \text{kg} \quad \text{hmotnost OK výložníku s nalepeným materiálem}$$

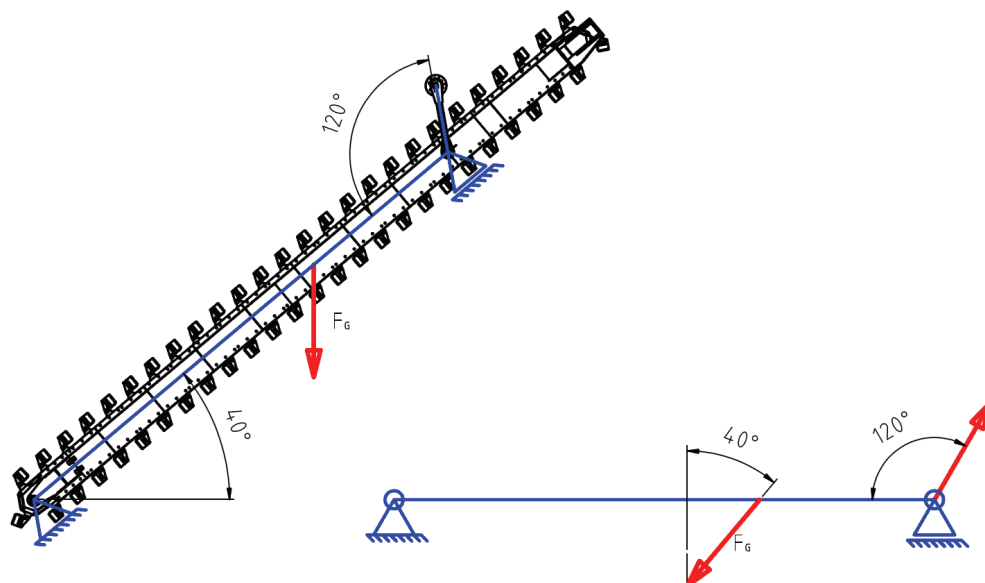
$$g = 9,81 \quad \text{m/s}^2 \quad \text{gravitační zrychlení}$$

Výpočet síly v těžišti vodiče shrnovacího řetězu

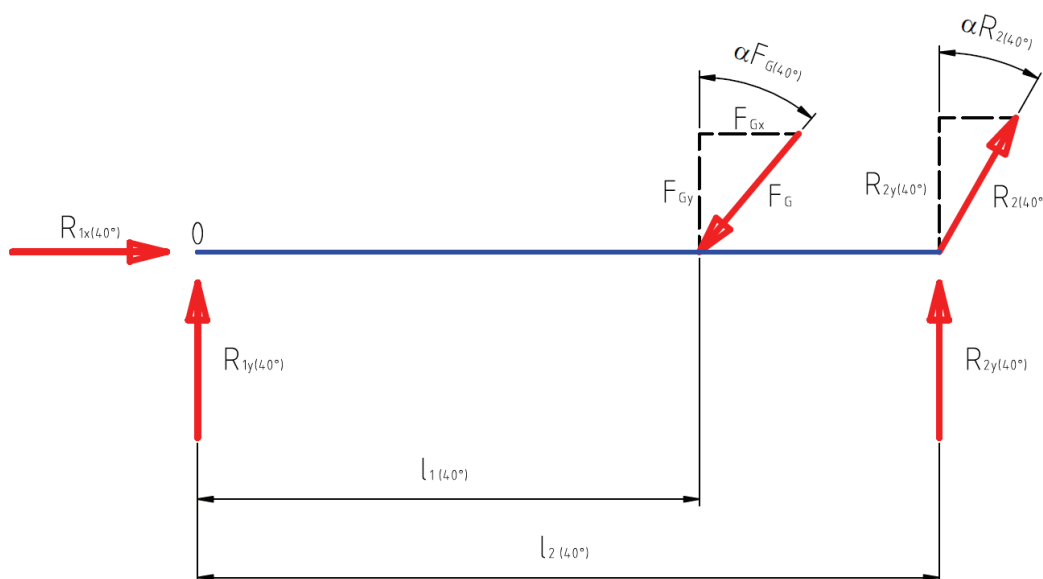
$$\begin{aligned} F_G &= m_{Q_{\text{mat}}} \cdot g \\ F_G &= 21098,6 \cdot 9,81 \\ F_G &= 206977 \text{ N} \Rightarrow \underline{\underline{207,0 \text{ kN}}} \end{aligned} \quad 5.2$$

$$F_G = 206976 \quad \text{N} \quad \text{Zatěžovací síla vodiče shrnovacího řetězu}$$

#### 5.2.1.2 Výpočet zatěžující síly v nejvyšší poloze (+40°)



Obr. 5.1 schéma zatěžujících sil vodiče v poloze +40°



Obr. 5.2 uvolnění pro výpočet reakcí v poloze +40°

$\alpha_{FG(40^\circ)}$	=	40°	úhel výložníku
$l_1$	=	8117 mm	vzdálenost těžiště
$l_{2(40^\circ)}$	=	12000 mm	vzdálenost táhla

Výpočet reakcí z momentové rovnice v poloze +40°

$$\begin{aligned}\sum M_i &= 0 \\ -F_G \cdot \cos \alpha_{FG(40^\circ)} \cdot l_{1(40^\circ)} + R_{2y(40^\circ)} \cdot l_{2(40^\circ)} &= 0 \\ R_{2y(40^\circ)} &= \frac{F_G \cdot \cos \alpha_{FG(40^\circ)} \cdot l_{1(40^\circ)}}{l_{2(40^\circ)}} \\ R_{2y(40^\circ)} &= \frac{206\,976,8 \cdot \cos 40^\circ \cdot 8117}{12000} \\ R_{2y(40^\circ)} &= 107\,248,2 \text{ N}\end{aligned}$$

5.3

$R_{2y(40^\circ)} = 107\,248,2 \text{ N}$  reakce v táhle v poloze +40°

Výpočet reakcí v ose x ze silové rovnice v poloze +40°

$$\begin{aligned}\sum F_{ix} &= 0 \\ R_{1x(40^\circ)} - F_G \cdot \sin \alpha_{FG(40^\circ)} &= 0 \\ R_{1x(40^\circ)} &= F_G \cdot \sin \alpha_{FG(40^\circ)} \\ R_{1x(40^\circ)} &= 206\,976,8 \cdot \sin 40^\circ \\ R_{1x(40^\circ)} &= 133\,042,1 \text{ N}\end{aligned}$$

5.4

$R_{1x(40^\circ)} = 133\,042,1 \text{ N}$  reakce x v čepu v poloze +40°

Výpočet reakcí v ose y ze silové rovnice v poloze +40°

$$\sum F_{iy} = 0$$

$$R_{1y(40^\circ)} - F_G \cdot \cos \alpha_{F_{G(40^\circ)}} + R_{2y(40^\circ)} = 0$$

$$R_{1y(40^\circ)} = F_G \cdot \cos \alpha_{F_{G(40^\circ)}} - R_{2y(40^\circ)}$$

$$R_{1y(40^\circ)} = 206\,976,8 \cdot \cos 40^\circ - 107\,248,2$$

$$R_{1y(40^\circ)} = 51\,305,2 \quad 5.5$$

$$R_{1y(40^\circ)} = 51\,305,2 \quad \text{N} \quad \text{Reakce y v čepu v poloze +40°}$$

Výpočet výsledné reakce v čepu v poloze +40°

Výsledná reakce v čepu není v této chvíli zásadní pro návrh vrátku zdvihu vodiče shrnovacího řetězu a pro návrh budu uvažovat pouze síly v táhle zvedání vodiče shrnovacího řetězu. V dalších polohách již budu zjišťovat pouze hodnoty reakcí do táhla zvedání vodiče shrnovacího řetězu.

$$R_{1(40^\circ)}^2 = R_{1x(40^\circ)}^2 + R_{1y(40^\circ)}^2$$

$$R_{1(40^\circ)} = \sqrt{R_{1x(40^\circ)}^2 + R_{1y(40^\circ)}^2}$$

$$R_{1(40^\circ)} = \sqrt{133\,042,1^2 + 51\,305,2^2}$$

$$R_{1(40^\circ)} = \underline{\underline{142\,591,8 \text{ N}}} \quad 5.6$$

$$R_{1(40^\circ)} = 142\,591,8 \quad \text{N} \quad \text{reakce v čepu v poloze +40°}$$

Výpočet výsledné síly v táhle v poloze +40°

Ve výpočtu 5.3 jsem zjistil kolmou sílu, potřebnou pro zdvih vodiče shrnovacího řetězu. Nyní musím tuto sílu zvětšit o úhel skutečného vychýlení táhla zvedání vodiče shrnovacího řetězu

$$\alpha_{R2(40^\circ)} = 19,6^\circ \quad \text{úhel táhla v poloze +40°}$$

$$\cos \alpha_{R2(40^\circ)} = \frac{R_{2y(40^\circ)}}{R_{2(40^\circ)}}$$

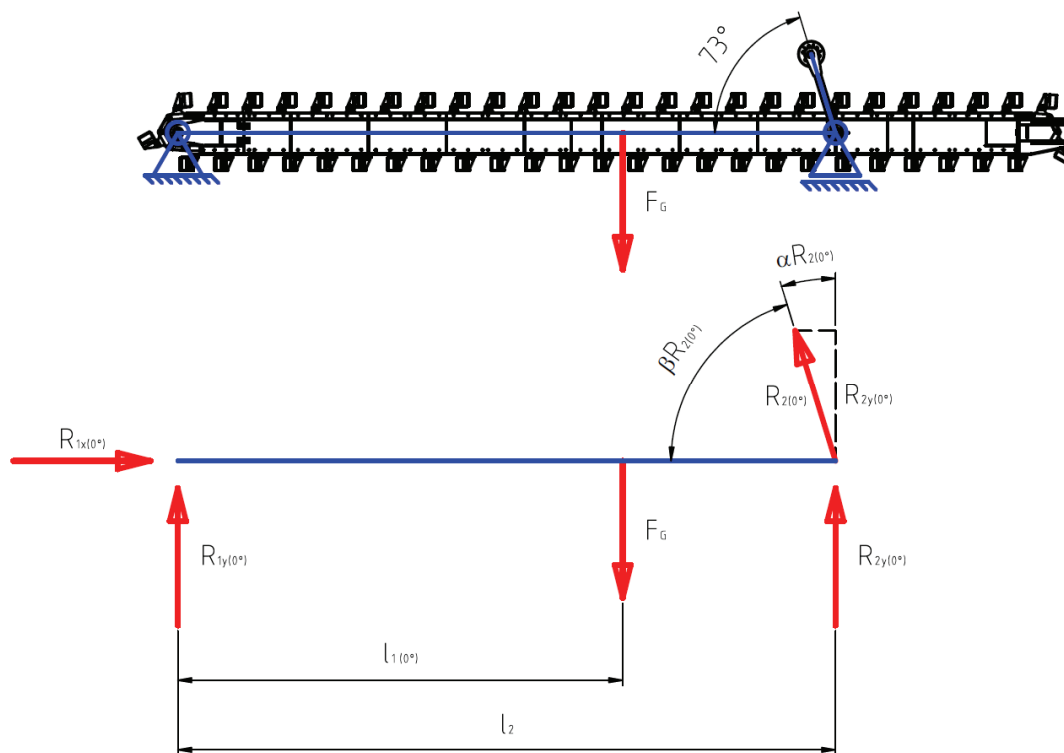
$$R_{2(40^\circ)} = \frac{R_{2y(40^\circ)}}{\cos \alpha_{R2(40^\circ)}}$$

$$R_{2(40^\circ)} = \frac{107\,248,2}{\cos 19,6^\circ}$$

$$R_{2(40^\circ)} = 113\,844,6 \quad 5.7$$

$$R_{2(40^\circ)} = 113\,844,6 \quad \text{N} \quad \text{tažná síla v poloze +40°}$$



5.2.1.3 Výpočet zatěžující síly ve vodorovné poloze ( $0^\circ$ )Obr. 5.3 schéma zatěžujících sil vodiče v poloze  $0^\circ$ 

$\alpha_{FG(0^\circ)} = 0^\circ$  úhel výložníku ve vodorovné pozici

$l_{1(0^\circ)} = 8086$  mm vzdálenost těžiště ve vodorovné pozici

Výpočet reakcí z momentové rovnice v poloze  $0^\circ$

$$\sum M_i = 0$$

$$-F_G \cdot \cos \alpha_{FG(0^\circ)} \cdot l_{1(0^\circ)} + R_{2y(0^\circ)} \cdot l_{2(0^\circ)} = 0$$

$$R_{2y(0^\circ)} = \frac{F_G \cdot \cos \alpha_{FG(0^\circ)} \cdot l_{1(0^\circ)}}{l_{2(0^\circ)}}$$

$$R_{2y(0^\circ)} = \frac{206\,976,8 \cdot \cos 0^\circ \cdot 8086}{12000}$$

$$R_{2y(0^\circ)} = 139\,467,9 \text{ N}$$

5.8

$R_{2y(0^\circ)} = 139\,467,9$  N reakce v táhle v poloze  $0^\circ$

Výpočet výsledné síly v táhle v poloze  $0^\circ$

$\alpha_{R2(0^\circ)} = -17,2^\circ$  úhel táhla v poloze  $0^\circ$

$$\cos \alpha_{R_{2(0^\circ)}} = \frac{R_{2y(0^\circ)}}{R_{2(0^\circ)}}$$

$$R_{2(0^\circ)} = \frac{R_{2y(0^\circ)}}{\cos \alpha_{R_{2(0^\circ)}}}$$

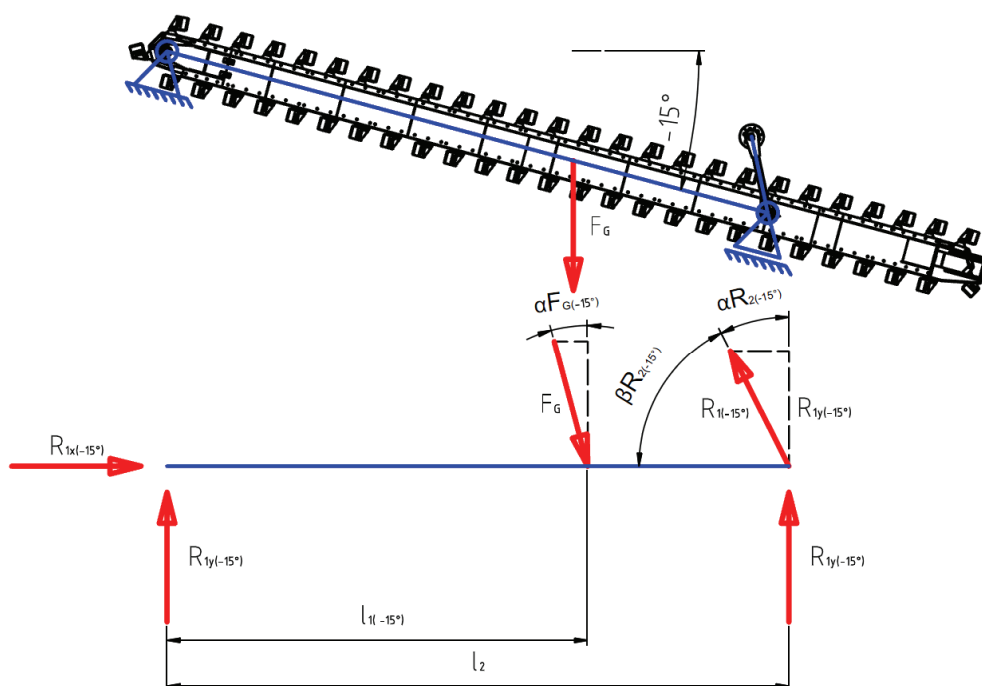
$$R_{2(0^\circ)} = \frac{139\,467,9}{\cos -17,2^\circ}$$

$$R_{2(0^\circ)} = 145\,997,1$$

5.9

$$R_{2(0^\circ)} = 145\,997,1 \quad \text{N} \quad \text{tažná síla v poloze } 0^\circ$$

#### 5.2.1.4 Výpočet zatěžující síly v poloze $-15^\circ$



Obr. 5.4 schéma zatěžujících sil vodiče v poloze  $-15^\circ$

$$\alpha_{FG(-15^\circ)} = -15^\circ \quad \text{úhel výložníku ve vodorovné pozici}$$

$$l_{1(-15^\circ)} = 8074,4 \quad \text{mm} \quad \text{vzdálenost těžiště ve vodorovné pozici}$$

Výpočet reakcí z momentové rovnice v poloze  $-15^\circ$

$$\sum M_i = 0$$

$$-F_G \cdot \cos \alpha_{FG(0^\circ)} \cdot l_{1(-15^\circ)} + R_{2y(-15^\circ)} \cdot l_{2(-15^\circ)} = 0$$

$$R_{2y(-15^\circ)} = \frac{F_G \cdot \cos \alpha_{FG(-15^\circ)} \cdot l_{1(-15^\circ)}}{l_{2(-15^\circ)}}$$

$$R_{2y(-15^\circ)} = \frac{206\,976,8 \cdot \cos -15^\circ \cdot 8\,074,4}{12000}$$

$$R_{2y(-15^\circ)} = 134\,522,3 \quad \text{N}$$

5.10

$$R_{2y(-15^\circ)} = 134\,522,3 \text{ N} \quad \text{reakce v táhle v poloze } -15^\circ$$

Výpočet výsledné síly v táhle v poloze  $0^\circ$

$$\alpha_{R2(-15^\circ)} = -27^\circ \quad \text{úhel táhla ve vodorovné pozici}$$

$$\cos \alpha_{R2(-15^\circ)} = \frac{R_{2y(-15^\circ)}}{R_{2(-15^\circ)}}$$

$$R_{2(-15^\circ)} = \frac{R_{2y(-15^\circ)}}{\cos \alpha_{R2(-15^\circ)}}$$

$$R_{2(-15^\circ)} = \frac{139\,467,9}{\cos -27^\circ}$$

$$R_{2(-15^\circ)} = 150\,978,0 \text{ N} \quad 5.11$$

$$R_{2(-15^\circ)} = 150\,978,0 \text{ N} \quad \text{tažná síla v poloze } -15^\circ$$

#### 5.2.1.5 Určení maximální zátěžné síly

Porovnáním předešlých výpočtů určíme maximální tažnou sílu pro kterou budeme u dimenzovat vrátek zdvihu vodiče shrnovacího řetězu.

$$R_{2(40^\circ)} = 113\,844,6 \text{ N} \quad \text{tažná síla v horní pozici výložníku}$$

$$R_{2(0^\circ)} = 145\,997,1 \text{ N} \quad \text{tažná síla v horní pozici výložníku}$$

$$R_{2(-15^\circ)} = 150\,978,0 \text{ N} \quad \text{tažná síla v horní pozici výložníku}$$

Porovnáním výsledku je nejnepříznivější poloha vodiče shrnovacího řetězu  $-15^\circ$ .

Pro tuto maximální sílu budeme dále dimenzovat vrátek zdvihu vodiče shrnovacího řetězu.

$$F_{\text{vod}} = 150\,978 \text{ N} \quad \text{tažná síla} \quad 151,0 \text{ kN}$$

#### 5.2.2. Rychlost zvedání výložníku

Dalším důležitým parametrem pro návrh vrátku je požadovaná rychlost zdvihu vodiče shrnovacího řetězu. Tato rychlost je využívána především při přemísťování stroje kde musí dojít k vyzvednutí vodiče shrnovacího řetězu do maximální polohy ( $+40^\circ$ ). Při pracovním provozu stroje je vrátek využíván ke spouštění vodiče shrnovacího řetězu do záběru tak aby bylo možné odebírat třísku materiálu. Tento pracovní zdvih je realizován nižší rychlostí než rychlost přemísťovací. Vrátek je dimenzován pro rychlost přemísťovací.

$$v_z = 5 \text{ m/min} \quad \text{rychlost zvedání výložníku v závěsu}$$

Tato rychlost je standardní pro podobné typy strojů. Tato rychlost je brána v ose závěsu vodiče shrnovacího řetězu.

### 5.2.3. Počet navíjených konců lana

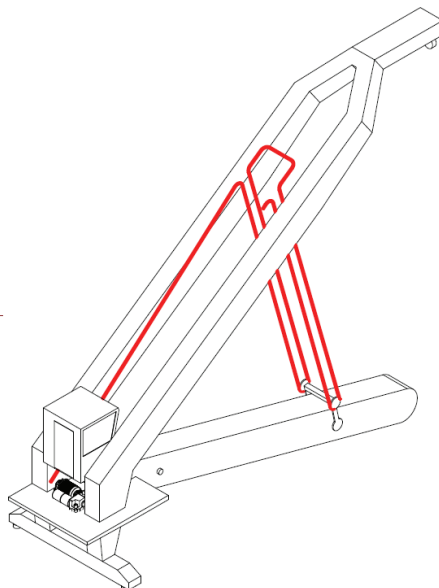
Dle prostorového uspořádání navržené ocelové konstrukce stroje volím provádět zdvih vodiče shrnovacího řetězu navíjením jednoho konce lana přes převáděcí a vyrovnávací kladky. Druhý konec lana bude pevně fixován k ocelové konstrukci stroje. Toto řešení má vliv na výsledný průměr lanového bubnu a počet navíjených závitů lana tak, aby byly dodrženy náběhové úhly na převáděcích kladkách. Tato konfigurace je z prostorového hlediska výhodnější a zajistí využití místa na plošině +2,500.

$$n_z = 1$$

počet navíjených konců lana

### 5.2.4. Lanový převod závěsu

Z důvodu navíjení pouze jednoho konce lana, volím konfiguraci odpovídající třem lanovým kladkám. Výsledný lanový převod je patrný z následujícího obrázku:



Obr. 5.5 lanový převod závěsu

$$n_L = 3$$

lanový převod závěsu

## 5.3. Výpočet vrátku zdvihu výložníku

Pro zadané parametry dle bodu 5.2 provedu výpočet vrátku zdvihu výložníku.

Tento návrh se bude skládat z těchto bodů:

- Návrh a výpočet lana
- Návrh a výpočet lanového bubnu
- Návrh a výpočet pohonu vrátku
- Návrh a výpočet ložisek vrátku

### 5.3.1. Návrh lana

Návrh lana budu provádět v souladu s normami ČSN ISO 4308-1 Jeřáby a zdvihací zařízení – Výběr ocelových lan a ČSN ISO 4301–1 Jeřáby a zdvihací zařízení – Klasifikace.

#### 5.3.1.1 Stanovení skupiny klasifikace mechanismů

Stanovení skupiny klasifikace mechanismů provedu podle normy ČSN ISO 4301–1. Dle této normy pro jeřáby provedu zatřídění bočního shrnovače, jelikož se jedná o velice podobná zařízení.

Smyslem klasifikace je poskytnout podklady pro analýzu konstruktérovi jeřábů tak, aby projektovaný jeřáb byl schopen dosáhnout požadované životnosti při uvažovaných provozních podmínkách. [3]

Třída využívání	Celková doba využívání v hod.	Poznámky
T <sub>0</sub>	200	Nepravidelné využívání
T <sub>1</sub>	400	
T <sub>2</sub>	800	
T <sub>3</sub>	1 600	
T <sub>4</sub>	3 200	Pravidelné lehké využívání
T <sub>5</sub>	6 300	Pravidelné přerušované využívání
T <sub>6</sub>	12 500	Nepravidelné intenzivní využívání
T <sub>7</sub>	25 000	Intenzivní využívání
T <sub>8</sub>	50 000	
T <sub>9</sub>	100 000	

Tabulka 5.1 - třída využívání mechanismů

[3]

Stav zatěžování	Jmenovitý součinitel spektra zatížení $K_m$	Poznámky
L 1 Lehký	0,125	Mechanismus je vystaven maximálnímu zatížení velmi zřídka a obvykle na něj působí pouze lehká zatížení
L 2 Střední	0,25	Mechanismus je vystaven maximálnímu zatížení častěji a obvykle na něj působí střední zatížení
L 3 Těžký	0,50	Mechanismus je vystaven maximálnímu zatížení velmi často a obvykle na něj působí vysoká zatížení
L 4 Velmi těžký	1,00	Mechanismus je vystaven maximálnímu zatížení pravidelně

Tabulka 5.2 – jmenovitý součinitel spektra zatížení pro mechanismy

[3]

V tabulce č. 5.1 jsem zvolil třídu využívání mechanismů, jako nepravidelné intenzivní využívání stroje a v tabulce č. 5.2 jsem zvolil obvyklé působení střední zatížení mechanismu, což odpovídá použití tohoto typu stroje.

Stav zatěžování	Jmenovitý součinitel spektra zatížení $K_m$	Třída využívání mechanismu										
		T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	
L1 – Lehký	0,125			M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	
L2 – Střední	0,25		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8		
L3 – Těžký	0,50	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8			
L4 – Velmi těžký	1,00	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8				

Tabulka 5.3 – klasifikace mechanismů

[3]

Na základě tabulek 5.1 a 5.2 jsem v tabulce 5.3 provedl zařazení našeho stroje. Dle tabulky 5.3 je náš stroj zařazen do skupiny M6. Toto zařazení využiji dále při výběru vhodného lana.

### 5.3.1.2 Minimální bezpečnost lana

Klasifikace mechanismu	Hodnoty $Z_p$
M1	3,15
M2	3,35
M3	3,55
M4	4,0
M5	4,5
M6	5,6
M7	7,1
M8	9,0

Tabulka 5.4 - hodnoty  $Z_p$  a hodnoty součinitele C

[4]

Minimální součinitel bezpečnosti lana  $Z_p$  pro mechanismus dle klasifikace M6 volím dle tabulky č. 5.4

$$Z_p = 5,6$$

minimální součinitel bezpečnosti lana

### 5.3.2. Výpočet minimálního průměru lana

Výpočet maximálního tahu v lanu

$$S = \frac{F_{vod}}{n_L \cdot n_Z}$$

$$S = \frac{150\,978}{3 \cdot 1}$$

$$S = 50\,326 \text{ N}$$

5.12



S 50 326 N Maximální tah v lanu

Výpočet součinitele výběru lana

$K' = 0,36$  Součinitel minimální únosnosti lana

$R_0 = 1\,960$  N/mm<sup>2</sup> Pevnost v tahu drátku použitého v laně

$$C = \sqrt{\frac{Z_p}{K' \cdot R_0}}$$

$$C = \sqrt{\frac{5,6}{0,36 \cdot 1960}}$$

$$C = 0,089$$

5.13

[4]

C = 0,089 Součinitel výběru lana

Výpočet minimálního průměru lana  $d_{\min}$

$$d_{\min} = C \cdot \sqrt{S}$$

$$d_{\min} = 0,089 \cdot \sqrt{50\,326}$$

$$d_{\min} = 19,9853 \text{ mm}$$

5.14

Pro vypočtený průměr lana volím nejbližší vyšší průměr standardně dodávaného lana.

### 5.3.1. Výpočtová únosnost lana

Minimální potřebná únosnost lana

$$F_1 = S \cdot Z_p$$

$$F_1 = 50\,326 \cdot 5,6$$

$$F_1 = 281\,826 \text{ N}$$

5.15

$F_1 = 281\,826$  N potřebná minimální únosnost lana

### 5.3.2. Volba lana

Na základě výpočtu volím ocelové lano DIEPA S 417 jež má následující parametry:

- Průměr lana 20 mm
- Průřez lana 210,7 mm<sup>2</sup>
- Hmotnost 190 kg/100m
- Minimální pevnost drátků 1960 MPa 355 000 N
- Směr vinutí vnějších pramenů křížové protisměrné lano
- Povrchová úprava drátů pozinkováno
- Úprava lana mazané

$d_{\text{ lana}} = 20$  mm Skutečný průměr lana

### 5.3.3. Průměr lanového bubnu

Výpočet minimálního průměru lanového bubnu vychází z normy ISO 4308-1. Klasifikace mechanismu je opět M6 dle tabulky č. 5.3

Klasifikace mechanismu	Bubny $h_1$
M1	11,2
M2	12,5
M3	14,0
M4	16,0
M5	18,0
M6	20,0
M7	22,4
M8	25,0

Tabulka 5.5 – součinitel výběru  $h_1$

[4]

$h_{\text{bubnu}} = 20$  Součinitel výběru pro bubnu

Počet vnějších pramenů v laně	Součinitel typu lana $t$
3 až 5	1,25
6 až 10	1,00
8 až 10 s plastickou výplní	0,95
10 a více, RR <sup>a</sup>	1,00
<sup>a</sup> Netočivé lano	

Tabulka 5.6 – součinitel typu lana  $t$

[4]

Na základě katalogového listu lana vybírám možnost 10 a více vnějších pramenů v laně.

$t_{\text{ lana}} = 1$  Součinitel typu lana

Výpočet minimálního průměru lanového bubnu

$$D_{\text{bubnu min}} \geq h_{\text{bubnu}} \cdot t_{\text{ lana}} \cdot d_{\text{ min}}$$

$$D_{\text{bubnu min}} \geq 20 \cdot 1 \cdot 19,99$$

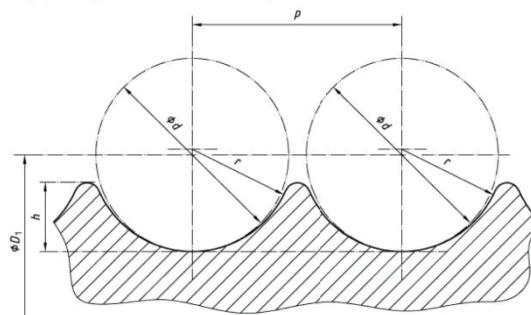
$$D_{\text{bubnu min}} \geq 400$$

5.16

$D_{\text{bubnu min}} = 400$  mm Minimální průměr bubnu

### 5.3.3.1 Typ lanového bubnu

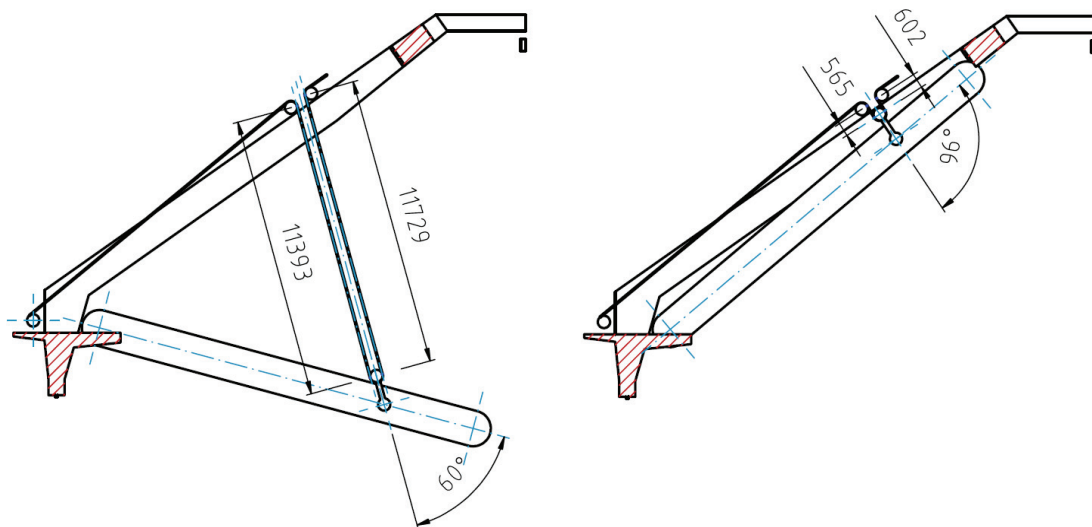
Pro vrátek použiji buben se spirálovou drážkou, který zajistí lepší navíjení lana a menší opotřebení než hladký buben. Lano budu navíjet pouze v jedné vrstvě tak, aby nedocházelo k jeho opotřebení vlivem překřížení.



Obr. 5.6 nákres drážkování bubnu

### 5.3.3.1 Délka navíjeného lana

Délku navíjeného lana určuji na základě zpracovaného 3D modelu. Délka navíjeného lana je rozdíl délky lana v nejnižší poloze vodiče shrnovacího řetězu a délky lana v nejvyšší poloze vodiče shrnovacího řetězu.



Obr. 5.7 délka navíjeného lana

$l_{1min}$	=	602	mm	Minimální délka horní části lana
$l_{2min}$	=	565	mm	Minimální délka dolní části lana
$l_{1max}$	=	11729	mm	Maximální délka horní části lana
$l_{2max}$	=	11392	mm	Maximální délka dolní části lana

Výpočet délky navíjeného lana

$$l_{nav} = 2 \cdot ((l_{1max} + l_{2max}) - (l_{1min} + l_{2min}))$$

$$l_{nav} = 2 \cdot ((11729 + 11392) - (602 + 565))$$

$$l_{nav} = 43908 \text{ mm} \Rightarrow \approx 44 \text{ m} \quad 5.17$$

Buben kladkostroje bude navržen pro délku navíjeného lana 44m.

$$l_{nav} = 44\,000 \quad \text{mm} \quad \text{Délka navíjeného lana}$$

### 5.3.3.1 Skutečný průměr lanového bubnu

Z konstrukčních důvodů volím skutečný průměr lanového bubnu 572 mm.

$$D_{rozteč} = 572 \quad \text{mm} \quad \text{Roztečná kružnice bubnu}$$

### 5.3.3.2 Minimální počet drážek na bubnu

Nyní když známe požadovanou délku lana, které musíme vrátkem navinout a průměr bubnu, vypočtu potřebný počet drážek na bubnu.

Výpočet délky navinutého lana pro 1 otočení bubnu

$$l_{1drážky} = \pi \cdot D_{rozteč}$$

$$l_{1drážky} = \pi \cdot 572$$

$$l_{1drážky} = 1797 \text{ mm} \quad 5.18$$

$$l_{1drážky} = 1797 \quad \text{mm} \quad \text{Délka navinutého lana pro 1 drážku}$$

Výpočet minimálního potřebného množství drážek k navinutí celé délky lana

$$n_{drážek} = \frac{l_{nav}}{l_{1drážky}}$$

$$n_{drážek} = \frac{44000}{1797}$$

$$n_{drážek} = 24,5 \quad 5.19$$

$$n_{drážek} = 24,5 \quad \text{Potřebný počet drážek na bubnu}$$

### 5.3.3.3 Rozteč drážek

Výpočet minimální vzdálenosti drážek od sebe

$$p_{drážek} = d_{lana} \cdot 1,15$$

$$p_{drážek} = 20 \cdot 1,15$$

$$p_{drážek} = 23 \text{ mm} \quad 5.20$$

$$p_{drážek} = 23 \quad \text{mm} \quad \text{Rozteč drážek}$$

### 5.3.3.4 Minimální prostor pro lano na bubnu

Výpočet minimálního prostoru pro lano na bubnu

$$p_{\text{bubnu min}} = n_{\text{drazek}} \cdot p_{\text{drazek}}$$

$$p_{\text{bubnu min}} = 24,5 \cdot 23$$

$$p_{\text{bubnu min}} = 563,5$$

5.21

$$p_{\text{bubnumin}} = 563,5 \text{ mm} \quad \text{Minimální prostor pro lano na bubnu}$$

### 5.3.4. Volba pohonu

Pro pohon vrátku použiji plochou elektropřevodovku s čelním soukolím a dutou výstupní hřídelí. Pro návrh pohonu musím spočítat minimální požadované parametry, jež musí pohon splňovat.

#### 5.3.4.1 Potřebný výkon elektromotoru

$$\eta = 0,85 \quad \text{Účinnost převodové skříně a lanového závěsu}$$

Výpočet minimálního potřebného výkonu elektromotoru:

$$P = \frac{F_{\text{vod}} \cdot \frac{v_z}{60}}{\eta}$$

$$P = \frac{150\,978 \cdot \frac{5}{60}}{0,85}$$

$$P = 14801,8 \text{ W} \Rightarrow 14,8 \text{ kW}$$

5.22

$$P = 14\,801,8 \text{ W} \quad \text{Potřebný výkon elektromotoru}$$

Pro tento výkon zvolím nejbližší vyšší typ elektromotoru pohonu.

#### 5.3.4.2 Otáčky lanového bubnu

Výpočet minimálních potřebných otáček lanového bubnu pro dodržení rychlosti zdvihu výložníku:

$$n_2 = \frac{v_z \cdot n_L}{\pi \cdot D_{\text{bubnu skut}}}$$

$$n_2 = \frac{5 \cdot 3}{\pi \cdot 572}$$

$$n_2 = 8,3 \text{ min}^{-1}$$

5.23

$$n_2 = 8,3 \text{ min}^{-1} \quad \text{Otáčky lanového bubnu}$$

Pro tyto otáčky zvolím nejbližší vyšší typ převodové skříně.

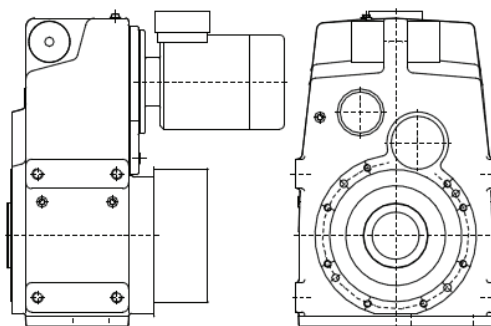
### 5.3.4.3 Parametry skutečného pohonu

Zvolil jsem plochou převodovou skříň s elektromotorem z katalogu firmy NORD. Jako nejvhodnější pohon jsem vybral plochou převodovou skříň typ SK10382-180MX/4.

Popis	Označení	Jednotky	Hodnoty
Jmenovitý výkon pohonu	$P_n$	kW	18,5
Výstupní otáčky	$n_2$	1/min	8,7
Jmenovitý moment	$M_2$	Nm	20307
Převodový poměr	$i$		16,8
Provozní faktor	$f_B$		1,6
Hmotnost		kg	137

Tabulka 5.7 – parametry pohonu

[5]



Obr. 5.8 pohonná jednotka typ SK10382-180MX/4

[5]

### 5.3.4.4 Skutečná rychlost zdvihu výložníku

Na základě zvoleného typu elektropřevodovky dopočtu skutečnou rychlost zdvihu výložníku.

$$n_{2\text{skut}} = 8,7 \quad \text{min}^{-1} \quad \text{Skutečné výstupní otáčky}$$



Výpočet skutečné rychlosti zvedání vodiče shrnovacího řetězu v ose závěsu.

$$v_{z.skut} = \frac{\pi \cdot D_{bubnu.skut} \cdot n_{z.skut}}{n_L}$$

$$v_{z.skut} = \frac{\pi \cdot 572 \cdot 8,7}{3}$$

$$v_{z.skut} = 5,2 \text{ m/min} \quad 5.24$$

$v_{z.skut} = 5,2$  m/min skutečná rychlost zvedání výložníku v ose závěsu

### 5.3.5. Pevnostní kontrola pláště lanového bubnu

Plášť lanového bubnu je namáhán na ohyb a na tlak způsobený sevřením lanem.

Parametry bubnu pro kontrolní výpočet:

$D_1$	= 550,5	mm	Průměr bubnu pod lanem
$D_2$	= 520	mm	Vnitřní průměr bubnu
$R_d$	= 290	Mpa	dovolené namáhání pro materiál S355
$k_r$	= 0,65		bezpečnostní součinitel zahrnující svarové spoje

#### 5.3.5.1 Výpočet ohybového napětí:

$L_1$	= 483,75	mm	Vzdálenost působíště síly od osy ložiska
-------	----------	----	--

Výpočet ohybového momentu

$$M_o = \frac{F_{vod}}{n_L \cdot n_z} \cdot L_1$$

$$M_o = \frac{150\,978}{3 \cdot 1} \cdot 483,75$$

$$M_o = 24,3 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad 5.25$$

$M_o$	= $24,3 \cdot 10^6$	N*mm	Ohybový moment
-------	---------------------	------	----------------

Výpočet průřezového modulu ohybu

$$W_o = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_1^4 - D_2^4}{D_1}$$

$$W_o = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{550,5^4 - 520^4}{550,5}$$

$$W_o = 3,34 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \quad 5.26$$

$$W_o = 3,34 \cdot 10^6 \quad \text{mm}^3 \quad \text{Průřezový modul ohybu}$$

Výpočet ohybového napětí

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o}$$

$$\sigma_o = \frac{24345194,48}{3339064,655}$$

$$\sigma_o = 7,29 \text{ MPa} \quad 5.27$$

$$\sigma_o = 7,29 \quad \text{Mpa} \quad \text{Ohybové napětí}$$

### 5.3.5.2 Výpočet namáhání tlakem

Pro výpočet namáhání tlakem musím znát následující součinitele:

$$\rho = 0,7 \quad \text{součinitel vlivu zmenšení síly v laně vlivem opásání pro ocelové bubny}$$

$$\Psi = 1 \quad \text{součinitel počtu navinutých vrstev lana na bubnu}$$

Výpočet namáhání tlakem

$$\sigma_d = \rho \cdot \Psi \cdot \frac{F_{vod}}{n_L \cdot n_z \cdot \frac{(D_1 - D_2)}{2} \cdot p_{drážek}}$$

$$\sigma_d = 0,7 \cdot 1 \cdot \frac{150\,978}{3 \cdot 1 \cdot \frac{(550,5 - 520)}{2} \cdot 23}$$

$$\sigma_d = 100,4 \text{ MPa} \quad 5.28$$

$$\sigma_d = 100,4 \quad \text{MPa} \quad \text{Tlakové napětí}$$

### 5.3.5.3 Kontrola výsledného napětí

Výsledné napětí musí vyhovovat podmínce, že  $\sigma \leq \sigma_{\max}$

Výpočet celkového napětí

$$\sigma = \sigma_o + \sigma_d$$

$$\sigma = 7,29 + 100,4$$

$$\sigma = 107,73 \quad 5.29$$

$$\sigma = 107,73 \quad \text{MPa} \quad \text{Výsledné napětí}$$

Výpočet maximálního dovoleného napětí

$$\sigma_{\max} = R_d \cdot k_\tau$$

$$\sigma_{\max} = 290 \cdot 0,65$$

$$\sigma_{\max} = 188,5 \text{ MPa}$$

5.30

$$\sigma_{\max} = 188,5 \quad \text{MPa} \quad \text{Maximální dovolené napětí}$$

Kontrola výsledného napětí

$$\sigma \leq \sigma_{\max}$$

$$107,73 \leq 188,5$$

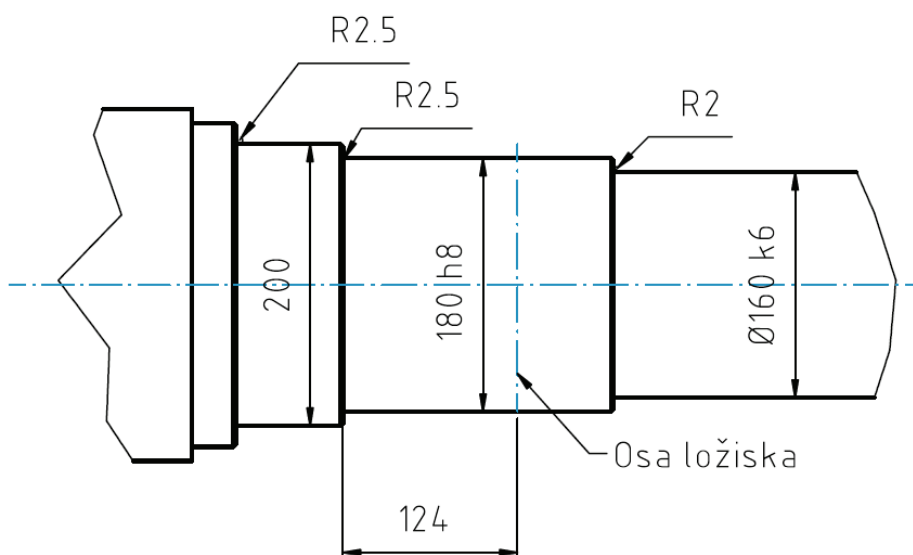
5.31

Plášť bubnu **vyhovuje** zadanému zatížení a lanový buben je navržen správně.

### 5.3.6. Kontrola hřídele lanového bubnu

Hřídel lanového bubnu je namáhán střídavým ohybem způsobeným tahem v laně a míjivým krutem způsobeným změnou krouticího momentu.

Hřídel budu kontrolovat v dynamicky nejméně příznivém průřezu



Obr. 5.9 dynamicky nejnepříznivější průřez

#### 5.3.6.1 Materiálové charakteristiky

Charakteristiky pro materiál S355 jsou:

$$\sigma_{C0} = 240 \quad \text{MPa} \quad \text{Mez únavy v ohybu}$$

$$T_{Ck} = 150 \quad \text{MPa} \quad \text{Mez únavy v krutu}$$

#### 5.3.6.2 Průřezové charakteristiky

Výpočet modulu průřezu v ohybu

$$d_{\text{hřídele}} = 180 \quad \text{mm} \quad \text{Průměr hřídele v kritickém průřezu}$$

$$W_{ohřřidel} = \frac{\pi}{32} \cdot d^3$$

$$W_{ohřřidel} = \frac{\pi}{32} \cdot 180^3 \quad 5.32$$

$$W_{ohřřidel} = 572555,26 \text{ mm}^3$$

$$W_{ohřřidele} = 572\,555,3 \text{ mm}^3 \quad \text{Průřezový modul ohybu}$$

Výpočet modulu průřezu v krutu

$$W_{k hřřidel} = \frac{\pi}{16} \cdot d^3$$

$$W_{k hřřidel} = \frac{\pi}{16} \cdot 180^3 \quad 5.33$$

$$W_{k hřřidel} = 1145110,52 \text{ mm}^3$$

$$W_{k hřřidele} = 1\,145\,110,5 \text{ mm}^3 \quad \text{Modul průřezu v krutu}$$

$$\beta_{\sigma}, \beta_{\tau} = 2,0 \quad \text{Vrubový součinitel}$$

$$\vartheta_{\sigma}, \vartheta_{\tau} = 0,6 \quad \text{Součinitel velikosti}$$

$$\varepsilon_p = 0,83 \quad \text{Součinitel jakosti povrchu}$$

$$\psi_{\tau} = 0,01 \quad \text{Vliv materiálu na nesouměrnost cyklu}$$

### 5.3.6.3 Ohybový moment

$$L_d = 124 \text{ mm} \quad \text{Vzdálenost nebezpečného průřezu od osy ložiska}$$

Výpočet ohybového momentu:

$$M_{ohřřidel} = \frac{F_{vod}}{n_L \cdot n_z} \cdot L_d$$

$$M_{ohřřidel} = \frac{150\,978}{3 \cdot 1} \cdot 124 \quad 5.34$$

$$M_{ohřřidel} = 6\,240\,421,9 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{ohřřidele} = 6\,240\,421,9 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad \text{Ohybový moment hřřidele}$$

**5.3.6.4 Ohybové namáhání**

Výpočet ohybového namáhání:

$$\sigma_a = \sigma_o = \frac{M_{o\ hřříde}}{W_{o\ hřříde}}$$

$$\sigma_a = \sigma_o = \frac{6\,240\,421,9}{572\,555,3} \quad 5.35$$

$$\sigma_a = \sigma_o = 10,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a, \sigma_o \text{ hřídele} = 10,9 \text{ MPa} \quad \text{Ohybové namáhání}$$

**5.3.6.5 Krutící moment**

Pro výpočet krutícího momentu vyjdu z navrženého pohonu.

$$M_k = 20\,307 \text{ Nm} \quad \text{Jmenovitý moment elektropřevodovky}$$

$$f_B = 1,6 \quad \text{Provozní faktor elektropřevodovky}$$

Výpočet maximálního krutícího momentu, pro který musí být hřídel dimenzován:

$$M_{k\max} = M_k \cdot f_B$$

$$M_{k\max} = 20\,307 \cdot 1,6 \quad 5.36$$

$$M_{k\max} = 32\,491,2 \text{ Nm}$$

$$M_{k\max} = 32\,491,2 \text{ Nm} \quad \text{Maximální krutící moment}$$

**5.3.6.6 Namáhání v krutu**

Výpočet namáhání v krutu:

$$\tau_a = \tau_m = \frac{\tau_k}{2} = \frac{M_{k\max}}{2 \cdot W_{k\ hřříde}}$$

$$\tau_a = \tau_m = \frac{32\,491,2 \cdot 1000}{2 \cdot 1145110,5} \quad 5.37$$

$$\tau_a = \tau_m = 14,19 \text{ MPa}$$

$$\tau_a, \tau_m = 14,19 \text{ MPa} \quad \text{Namáhání v krutu}$$

**5.3.6.7 Dynamická bezpečnost v ohybu**

Výpočet dynamické bezpečnosti v ohybu:

$$k_{\sigma} = \frac{\sigma_{Co}}{\frac{\beta_{\sigma}}{\mathcal{G}_{\sigma} \cdot \varepsilon_p} \cdot \sigma_a}$$

$$k_{\sigma} = \frac{240}{\frac{2,0}{0,6 \cdot 0,83} \cdot 10,9} \quad 5.38$$

$$k_{\sigma} = 5,48$$

$$k_{\sigma} = 5,48 \quad \text{Dynamická bezpečnost v ohybu}$$

**5.3.6.8 Dynamická bezpečnost v krutu**

Výpočet dynamické bezpečnosti v krutu:

$$k_{\tau} = \frac{\tau_{Ck}}{\frac{\beta_{\tau}}{\mathcal{G}_{\tau} \cdot \varepsilon_p} \cdot \tau_a + \psi_{\tau} \cdot \tau_m}$$

$$k_{\tau} = \frac{150}{\frac{2,0}{0,6 \cdot 0,83} \cdot 14,19 + 0,01 \cdot 14,19} \quad 5.39$$

$$k_{\tau} = 2,63$$

$$k_{\tau} = 2,63 \quad \text{Dynamická bezpečnost v krutu}$$

**5.3.6.9 Dynamická bezpečnost hřídele**

Pro výpočet dynamické bezpečnosti hřídele musí platit že  $k_{dyn} \geq 1,5$

$$k_{dyn} = \frac{k_{\sigma} \cdot k_{\tau}}{\sqrt{k_{\sigma}^2 + k_{\tau}^2}} \geq 1,5$$

$$k_{dyn} = \frac{5,48 \cdot 2,63}{\sqrt{5,48^2 + 2,63^2}} \geq 1,5 \quad 5.40$$

$$\underline{\underline{k_{dyn} = 2,37 \geq 1,5}}$$

$$k_{dyn} = 2,37 \quad \text{Dynamická bezpečnost hřídele}$$

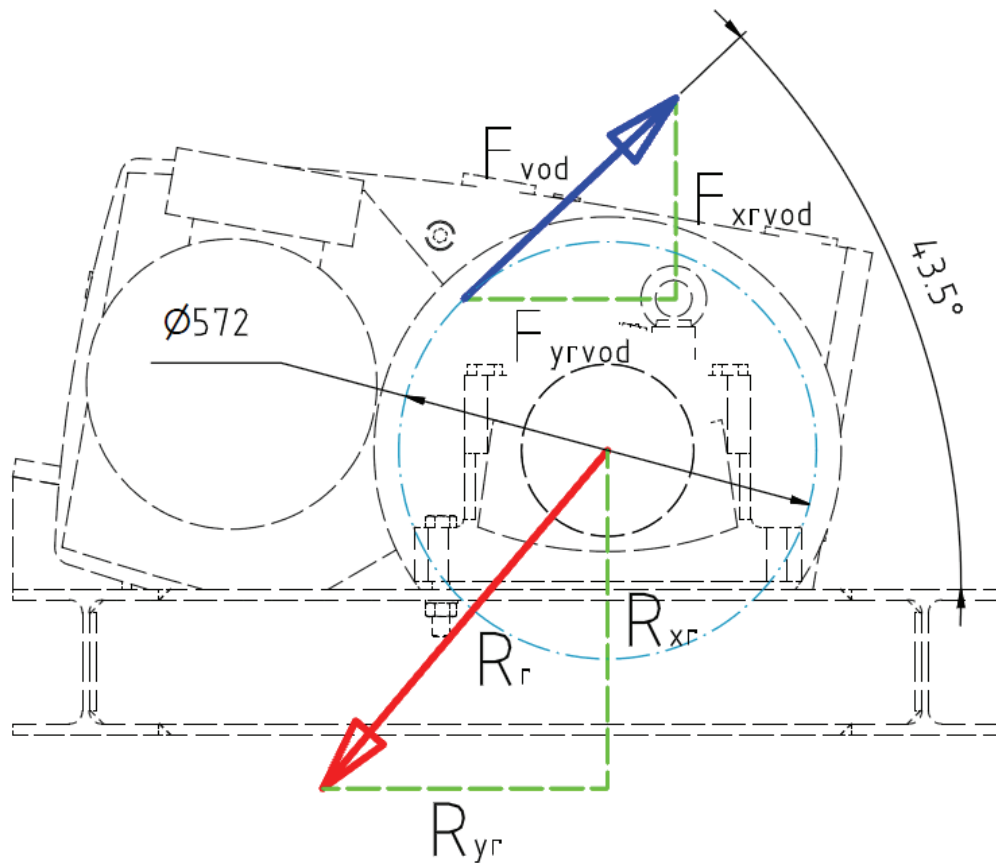
Podmínka dynamické bezpečnosti byla splněna a hřídel je navržen správně.



### 5.3.7. Posouzení ložisek

#### 5.3.7.1 Zatěžující síly

Na vrátek působí tažná síla potřebná pro zdvih vodiče shrnovacího řetězu. Tato síla působí pod úhlem  $43,5^\circ$ . Tuto sílu rozložím na složky  $F_{xrvod}$  a  $F_{yrvod}$ . Z těchto sil zpočítám výslednou radiální sílu do ložiska  $R_r$ .



Obr. 5.10 úhel lana na vrátku

$$\alpha_{vod} = 43,5^\circ \quad \text{Úhel lana na vrátku}$$

Výpočet x složky síly  $F_{vod}$

$$\begin{aligned} F_{xrvod} &= F_{vod} \cdot \sin \alpha_{vod} \\ F_{xrvod} &= 150\,978 \cdot \sin 43,5^\circ \\ F_{xrvod} &= 103\,926,4 \text{ N} \end{aligned} \quad 5.41$$

$$F_{xrvod} = 103\,926,4 \text{ N} \quad \text{Radiální síla na bubnu v ose x}$$

Výpočet síly od hmotnosti pohonu

$$m_{prev} = 1317 \text{ kg} \quad \text{Hmotnost převodovky}$$

$$F_p = m_{prev} \cdot g$$

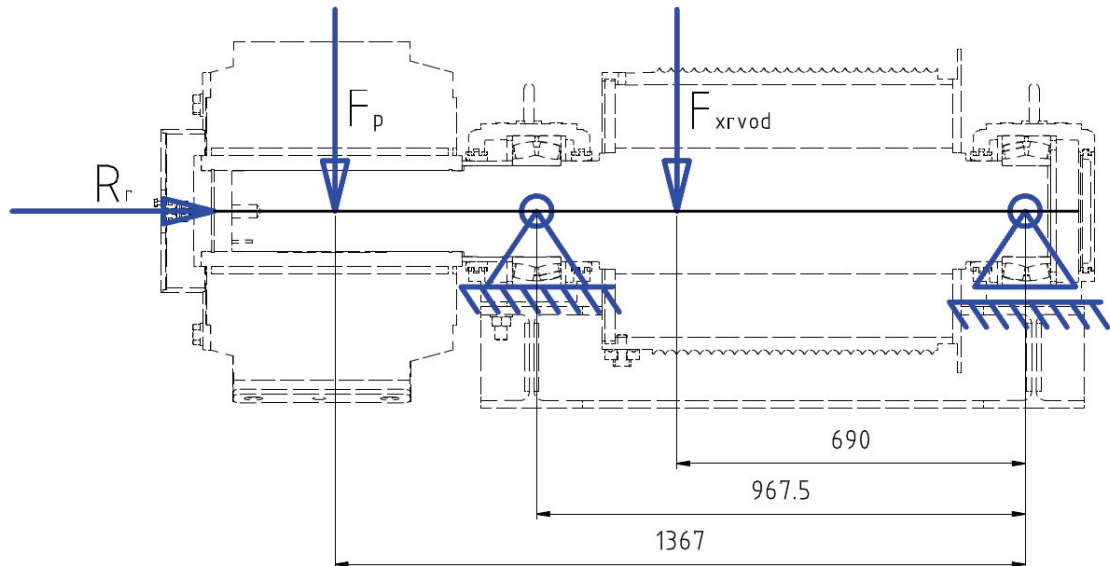
$$F_p = 1317 \cdot 9,81$$

$$F_p = 12919,77 \text{ N}$$

5.42

$$F_p = 12919,77 \text{ N}$$

Síla působící v těžišti převodovky



Obr. 5.11 schéma zatížení ložisek v ose x

Pro výpočet reakce v ložisku vycházím z momentové rovnice. Posuzuji pouze ložisko u převodové skříně jelikož je více zatěžováno jak je patrné z obr. 5.10.

Výpočet složky x reakční síly v ložisku

$$\sum M_i = 0$$

$$F_p \cdot 1367 - R_{xr} \cdot 967,5 + F_{xrvod} \cdot 690 = 0$$

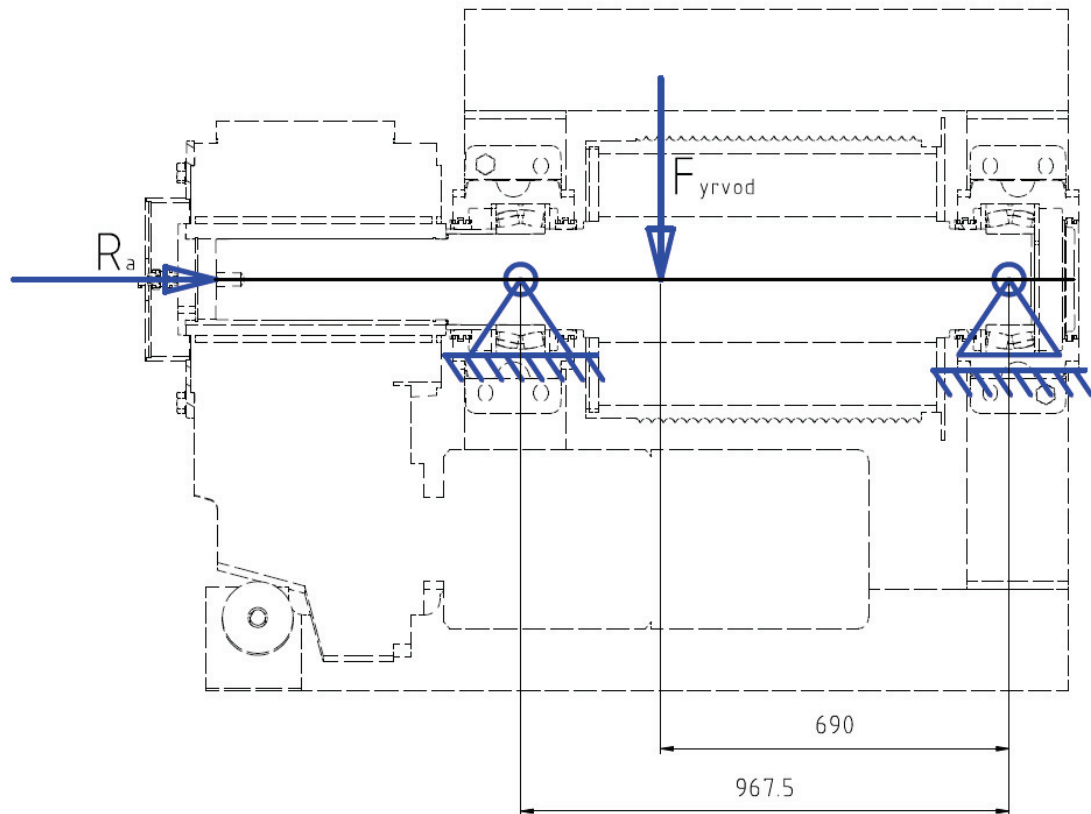
$$R_{xr} = \frac{F_p \cdot 1367 + F_{xrvod} \cdot 690}{967,5}$$

$$R_{xr} = 92\,372,6 \text{ N}$$

5.43

$$R_{xr} = 92\,372,6 \text{ N}$$

Radiální síla v ose x působící na ložisko



Obr. 5.12 schéma zatížení ložisek v ose y

Výpočet y složky síly  $F_{vod}$ 

$$F_{yrvod} = F_{vod} \cdot \cos \alpha_{vod}$$

$$F_{yrvod} = 150\,978 \cdot \cos 43,5^\circ$$

$$F_{yrvod} = 109\,515,5 \text{ N}$$

5.44

$$F_{yrvod} = 109\,515,5 \text{ N}$$

Radiální síla na bubnu v ose y

Výpočet složky y reakční síly v ložisku

$$\sum M_i = 0$$

$$-R_{yr} \cdot 967,5 + F_{yrvod} \cdot 690 = 0$$

$$R_{yr} = \frac{F_{yrvod} \cdot 690}{967,5}$$

$$R_{yr} = 78\,104,1 \text{ N}$$

5.45

$$R_{yr} = 78\,104,1 \text{ N}$$

Radiální síla v ose y působící na ložisko

Výslednou reakční sílu dopočteme z jednotlivých složek a pro tuto radiální sílu budeme ložisko dimenzovat.

Výpočet zatěžující radiální síly

$$R_r = \sqrt{R_{xr}^2 + R_{yr}^2}$$

$$R_r = \sqrt{92\,372,6^2 + 78\,104,1^2}$$

$$R_r = 120\,966,7 \text{ N} \quad 5.46$$

$R_r = 120\,966,7 \text{ N}$  Radiální síla působící na ložisko

Výpočet axiální síly působící na ložisko

$$R_a = 0,2 \cdot R_r$$

$$R_a = 0,2 \cdot 120\,966,7$$

$$R_a = 24\,193,3 \text{ N} \quad 5.47$$

$R_a = 24\,193,3 \text{ N}$  Axiální síla působící na ložisko

### 5.3.7.2 Návrh ložiska

Z konstrukčního hlediska jsem vybral ložisko dvouřadé soudečkové vyráběné společnostmi SKF. Jedná se o typ 23136 CC/W33 jež má následující parametry:

Popis	Označení	Jednotky	Hodnoty
Průměr díry	d	mm	180
Vnější průměr	D	mm	300
Šířka ložiska	B	mm	96
Hmotnost		kg	28

Tabulka 5.8 – parametry zvoleného ložiska

Pro posouzení životnosti ložisek jsem využil počítačového programu SKF Bearing Select do kterého jsem zadal vypočtené parametry.

### 5.3.7.3 Výpočet ložiska

Na základě výpočtu ložisek v programu SKF Bearing Select mi vyšla předpokládaná životnost ložisek 114 000 hodin provozu.

Výpočet ložisek v programu SKF Bearing Select tvoří přílohu této diplomové práce.

## 6. Závěr

Úkolem mé práce bylo provést konstrukční úpravu stávajícího skládkového stroje. Tato úprava spočívala v návrhu nové ocelové konstrukce a návrhu vrátku zdvihu vodiče shrnovacího řetězu.

Při návrhu jsem vycházel ze zadaných parametrů stávajícího stroje. Provedl jsem návrh nového stroje v 3D modelu v systému Inventor 2012.

Návrh ocelové konstrukce jsem provedl s důrazem na maximální zjednodušení stroje. Eliminací částí ocelové konstrukce stroje došlo ke snížení použitého materiálu při výrobě a také zjednodušení provozu a údržby. Toto má vliv na celkové náklady spojené s výrobou a provozem tohoto stroje.

Zpracoval jsem kompletní výpočet lanového vrátku zdvihu vodiče shrnovacího řetězu. Návrh byl proveden v souladu s platnými normami a odpovídá bezpečnostním požadavkům kladeným na obdobné zařízení. Tento lanový vrátek je použitelný i samostatně pro jiný typ stroje nebo zařízení. Vrátek je umístěn na hlavní plošině tak, abych eliminoval stávající plošinu ocelové konstrukce stroje, čímž došlo k značné úspoře použitého materiálu a tedy snížení ceny nového stroje.

Poznatky z této diplomové práce lze do budoucna uplatnit v praxi při navrhování nových typů skládkových strojů i při rekonstrukcích stávajících strojů.

## Citovaná literatura

1. **Magdeburg, FAM Förderanlagen.** Portal scraper. *fam.de*. [Online] FAM Förderanlagen, 2000 - 2009. [Citace: 15. 5 2012.] <http://portal-scraper.fam.de/>.
2. **A/S, FLSmidth.** *flsmidth*. [Online] [Citace: 2012. 5 15.] <http://www.flsmidth.com/en-US/Products/Product+Index/All+Products/Storage/Longitudinal+Portal+Scraper+Store/PS+Longitudinal+Portal+Scraper+Store.07-08-254> FLSmidth.
3. **ČSN ISO 4301/1.** Jeřáby a zdvihací zařízení - KLASIFIKACE. *CRANE SERVICE Praha, Ing. Miroslav Chromečka; Ing. Jan Dvořák*. [Česká technická norma]. místo neznámé : Federální úřad pro normalizaci a měření, Listopad 1992. Sv. Část 1: Všeobecně. 01 27 0020/1.
4. **ČSN ISO 4308-1.** Jeřáby a zdvihací zařízení - Výběry ocelových lan. *Královo Pole Cranes, a.s., Ing. Miroslav Jírů*. [Česká technická norma]. místo neznámé : Český normalizační institut, Říjen 2004. Sv. Část 1 - Všeobecně. 71354.
5. **DRIVESYSTEMS, NORD.** Getriebebau NORD Drivesystems. *G 1000 CZ*. Hamburg : NORD, 2008. Mat. Nr. 600 00 84/11.08.
6. **Ing. Emil Vašek.** *Navrhování strojů a zařízení pro povrchové dobývání*. Vysoká škola Báňská v Ostravě : Závěrečná práce postgraduálního studia, 1983/1984.
7. **Prof. Ing. Vladimír Limberk.** *Povrchové dobývání ložisek*. místo neznámé : Státní nakladatelství technické literatury, 1964. 23 564/63.
8. **Prof. Ing. František Dražan.** *Zemní stroje*. Praha : Editační středisko ČVUT; Praha I, Husova 5.
9. **Leinveber, Jan a Vávra, Pavel.** *Strojnické tabulky*. Úvaly : ALBRA-pedagogické nakladatelství, 2006. ISBN 80-7361-033-7.
10. **Vítkovice.** *Specifikace nakupovaných dílů*. S-4-VV-00860, Archív vítkovice : autor neznámý, 2007.



## Seznam obrázků

Obr. 2.1 metoda zakládání materiálu cone - shell .....	15
Obr. 2.2 metoda zakládání materiálu cevron .....	16
Obr. 2.3 metoda zakládání materiálu windrow .....	16
Obr. 2.4 metoda zakládání materiálu strata .....	17
Obr. 2.5 metoda zakládání materiálu chevcon .....	17
Obr. 2.6 vápenec .....	18
Obr. 2.7 uhlí .....	18
Obr. 2.8 sádrovec .....	18
Obr. 2.9 dřevní štěpka .....	18
Obr. 2.10 železná ruda .....	18
Obr. 2.11 pásový homogenizační zakladač .....	19
Obr. 2.12 výložníkový zakladač .....	19
Obr. 2.13 boční shrnovač portálový .....	20
Obr. 2.14 boční shrnovač poloportálový .....	21
Obr. 2.15 boční shrnovač podélný .....	21
Obr. 2.16 boční shrnovač čelní .....	22
Obr. 2.17 portálový korečkový naběrač .....	22
Obr. 2.18 zakladač naběrač homogenizační .....	23
Obr. 2.19 stroj PZNHk umístěný v ARCELOR MITTAL Ostrava .....	23
Obr. 2.20 zakladač naběrač homogenizační .....	24
Obr. 2.21 stroj ZNKk umístěný v El. Chvaletice .....	24
Obr. 2.22 boční shrnovač zakladač homogenizační .....	25
Obr. 3.1 OK dolního rámu .....	27
Obr. 3.2 OK vodiče shrnovacího řetězu .....	27
Obr. 3.3 OK šikmé příčle .....	28
Obr. 3.4 OK plošin +1,255 a +2,500 .....	28
Obr. 3.5 OK Plošiny +5,400 .....	29
Obr. 3.6 návrh OK nového stroje .....	31
Obr. 4.1 umístění vrátku horní pohled .....	32
Obr. 4.2 zadní pohled na umístění vrátku .....	32
Obr. 5.1 schéma zatěžujících sil vodiče v poloze +40° .....	35
Obr. 5.2 uvolnění pro výpočet reakcí v poloze +40° .....	35
Obr. 5.3 schéma zatěžujících sil vodiče v poloze 0° .....	37
Obr. 5.4 schéma zatěžujících sil vodiče v poloze -15° .....	38
Obr. 5.5 lanový převod závěsu .....	40
Obr. 5.6 nákres drážkování bubnu .....	45

Obr. 5.7 délka navíjeného lana .....	45
Obr. 5.8 pohonná jednotka typ SK10382-180MX/4 .....	48
Obr. 5.9 dynamicky nejnepříznivější průřez .....	51
Obr. 5.10 úhel lana na vrátku .....	55
Obr. 5.11 schéma zatížení ložisek v ose x.....	56
Obr. 5.12 schéma zatížení ložisek v ose y.....	57

## Seznam tabulek

Tabulka 5.1 - třída využívání mechanismů .....	41
Tabulka 5.2 – jmenovitý součinitel spektra zatížení pro mechanizmy .....	41
Tabulka 5.3 – klasifikace mechanismů .....	42
Tabulka 5.4 - hodnoty $Z_p$ a hodnoty součinitele $C$ .....	42
Tabulka 5.5 – součinitel výběru $h_1$ .....	44
Tabulka 5.6 – součinitel typu lana $t$ .....	44
Tabulka 5.7 – parametry pohonu .....	48
Tabulka 5.8 – parametry zvoleného ložiska .....	58

## Přílohy

Číslo dokumentu	Název	Revize
4-DPH-001	Výpočet životnosti ložisek v programu SKF Bearing Select	0
3-DPH-002	Polohy vodiče a jejich těžiště	0
1-DPH-003	Lanový buben	0
2-DPH-004	Konstrukční návrh upraveného stroje	0